

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektroniky a informatiky

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Ondřej Rychtar

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Detekční systém pro analýzu rostoucí vegetace ze vstupního  
obrazového signálu  
Detection System for Vegetation Analysis by Image Signal

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Rychtar**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Detekční systém pro analýzu rostoucí vegetace ze vstupního  
obrazového signálu**  
**Detection System for Vegetation Analysis by Image Signal**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky zpracování obrazového signálu a analýzy vegetace.
2. Návrh systému pro analýzu rostoucí vegetace s využitím obrazového signálu.
3. Realizace systému pro analýzu rostoucí vegetace s využitím obrazového signálu.
4. Měření a analýza s vyhodnocením skutečných parametrů systému.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

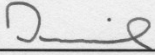
- [1] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#: automatické rozpoznávání, úprava snímků, příklady zdrojového kódu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 143 s. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [2] SOJKA, Eduard. *Digitální zpracování a analýza obrazů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. 133 s. ISBN 80-7078-746-5.
- [3] SOJKA, E., J. GAURA a M. KRUMNIKL. *Matematické základy počítačové grafiky ; Matematické základy digitálního zpracování obrazu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. 1 CD-ROM.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

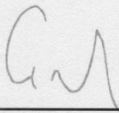
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017

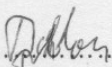
  
doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

..........

Bc. Ondřej Rychtar

V Ostravě dne: 28. 4. 2017

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Zdeňkovi Macháčkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci dokončit.

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je návrh a realizace detekčního systému pro analýzu rostoucí vegetace ze vstupního obrazového signálu. Detekční systém je realizován v programu Matlab. Je zaměřený na různé aspekty, které mohou být detekovány u vegetace.

Systém umožňuje detekovat růst rostlin pomocí dvou snímků. Součástí systému je úprava snímků do požadovaného vzhledu. Z takto upravených snímků se provádí detekce růstu rostlin.

## **Klíčová slova**

Matlab, detekce hran, histogram, morfologické operace, indexování, růst a vývoj rostlin, detekce růstu, prahování, stupně šedi, digitální obraz.

## **Abstract**

The aim of the diploma thesis is to design and implement a detection system for analysis of growing vegetation from the input video signal. The detection system is implemented in the Matlab program. A is focused on various aspects that can be detected in vegetation.

The system allows you to detect the growth of two plant images. The components of the systems are to adjust the images to the desired appearance. From such modified images, growth detection is performed.

## **Key words**

Matlab, Edge detection, histogram, morphological operations, indexing, plant growth and development, growth detection, thresholding, grayscale, digital image

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	7
Seznam ilustrací .....	8
Seznam tabulek .....	10
Úvod .....	11
1 Úpravy obrazu .....	12
1.1 Parametry digitálního obrazu.....	12
1.2 Rozlišení obrazu .....	13
1.3 Převod na stupně šedi .....	14
1.4 Histogram obrazu .....	14
1.5 Detekce hran.....	15
1.6 Prahování.....	18
1.7 Morfologické metody .....	19
1.7.1 Dilatace.....	19
1.7.2 Eroze .....	20
1.7.3 Otevření .....	20
1.7.4 Uzavření .....	21
1.7.5 Ztenčování .....	22
1.7.6 Kostra (skelet) .....	22
1.7.7 Transformace tref či miň .....	23
1.8 Indexování.....	23
2 Růst a vývoj rostlin.....	24
2.1 Vnitřní faktory růstu rostlin.....	24
2.2 Vnější faktory růstu rostlin .....	24
2.3 Vývoj rostlin.....	25
3 Návrh systému pro analýzu rostoucí vegetace .....	27
4 Realizace systému pro analýzu rostoucí vegetace.....	28
4.1 Úprava snímků .....	29
4.1.1 Zmenšení velikosti snímků .....	30
4.1.2 Převod do stupňů šedi.....	31
4.1.3 Zvětšení kontrastu .....	32
4.1.4 Zvýraznění zelených objektů .....	33
4.1.5 Detekce hran – Sobelův operátor .....	34

4.1.6	Prahování.....	35
4.1.7	Morfologické operace – Eroze.....	36
4.1.8	Indexování - Blob .....	37
4.2	Detekce růstu zeleně.....	38
4.2.1	Nalezení listů rostlin.....	39
4.2.2	Rozdělení po rostlinách .....	42
4.2.3	Zjištění velikosti rostlin .....	45
4.2.4	Výpočet procentuálního přírůstu plochy listů .....	48
4.3	Grafické rozhraní.....	50
5	Měření a analýza.....	52
	Závěr .....	56
	Použitá literatura .....	58
	Seznam příloh .....	60

## **Seznam použitých symbolů a zkratek**

RGB	Red, green, blue
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key
DPI	Dots per inch
PIXEL	Picture element
JPG	Joint Photographic Experts Group
BMP	Windows Bitmap
BLOB	Binary large object



## Seznam ilustrací

Obr. 1 Vzorkování obrazu [1] .....	12
Obr. 2 Kvantování obrazu a vznik jasového rozlišení [1] .....	12
Obr. 3 Obraz po vzorkování a kvantování [1] .....	13
Obr. 4 Reprezentace digitálního obrazu [1] .....	13
Obr. 5 Na obr. A je zmenšení obrázku, Na obr B je originální obrázek a na obr. C je zvětšení [5] .....	13
Obr. 6 Vlevo je původní obrázek, vpravo převedený na stupně šedi .....	14
Obr. 7 Ideální rozložení histogramu [7] .....	14
Obr. 8 Histogram přexponovaného snímku [7] .....	14
Obr. 9 Podexponovaný histogram [7] .....	15
Obr. 10 Ukázka tvaru hran [8] .....	15
Obr. 11 Gradient a směr hrany [3] .....	16
Obr. 12 Princip použití konvoluční masky [9] .....	16
Obr. 13 Detekce hran s použitím osmi matic [9] .....	17
Obr. 14 Bimodální histogram jasu [2] .....	18
Obr. 15 Oddělení pozadí pomocí prahování [3] .....	18
Obr. 16 Princip dilatace [3] .....	19
Obr. 17 Rozdíl mezi dilatací a erozí [3] .....	20
Obr. 18 Princip eroze [3] .....	20
Obr. 19 Příklad otevření [10] .....	21
Obr. 20 Příklad uzavření [10] .....	21
Obr. 21 Objekt před a po provedení ztenčení [2] .....	22
Obr. 22 a) Kostra obdélníka b) Vliv chyby způsobené digitalizací [2] .....	22
Obr. 23 původní obraz a obraz po užití metody tref či miň [11] .....	23
Obr. 24 Indexování oblastí [2] .....	23
Obr. 25 Dělivý růst [12] .....	24
Obr. 26 Prodlužovací růst [12] .....	24
Obr. 27 Graf znázorňující závislost růstu na teplotě [14] .....	25
Obr. 28 Životní cyklus rostlin [16] .....	25
Obr. 29 Vývoj rostliny [15] .....	26
Obr. 30 Blokový návrh systému pro analýzu vegetace .....	27
Obr. 31 Návrh umístění rostliny a fotoaparátu. ....	27
Obr. 32 Ukázka rozdělení programu do funkcí .....	28
Obr. 33 Grafické rozhraní. ....	28
Obr. 34 Diagram částí pro úpravu snímků .....	29
Obr. 35 Upravené snímky uspořádány podle toho, jak jsou funkce prováděny .....	29
Obr. 36 Princip ztrátového snížení kvality obrazu .....	30
Obr. 37 Vývojový diagram funkce zmenšení snímku .....	30
Obr. 38 První je vstupní snímek a druhý po převodu na stupně šedi .....	31
Obr. 39 Vývojový diagram převodu na stupně šedi .....	31
Obr. 40 První snímek jsou stupně šedi a druhý po změně kontrastu .....	32
Obr. 41 Zjednodušený vývojový diagram úpravy kontrastu .....	32

Obr. 42 První snímek je zvětšení kontrastu, druhý je použití detekce hran na první snímek a poslední je zvýraznění zelené barvy v kontrastovém snímku .....	33
Obr. 43 Vývojový diagram zvýraznění zelené barvy .....	33
Obr. 44 Na prvním snímku je jasový obraz se zvýrazněnou zelenou barvou a na druhém je jasový obraz se výraznějšími hranami.....	34
Obr. 45 Zjednodušený vývojový diagram detekce hran .....	34
Obr. 46 Na prvním snímku je jasový obraz se zvýrazněnými hranami a na druhém je obraz převedený prahováním na černobílý snímek.....	35
Obr. 47 Vývojový diagram prahování .....	35
Obr. 48 První snímek je před použitím funkce a druhý po morfologické operaci - erozi .....	36
Obr. 49 Vývojový diagram funkce Eroze.....	36
Obr. 50 Ukázka indexování.....	37
Obr. 51 Jednoduché blokové schéma indexování .....	37
Obr. 52 Diagram částí pro analýzu růstu zeleně .....	38
Obr. 53 Snímky použité v detekčním systému .....	38
Obr. 54 Netřízená halda z náhodných čísel .....	39
Obr. 55 Vytřízená halda .....	39
Obr. 56 Princip získání seřazené řady z haldy .....	40
Obr. 57 Ukázka seřazení plochy oblastí – řádek jedna .....	40
Obr. 58 Ukázka filtrace zelených objektů .....	40
Obr. 59 Výstupní snímek po filtraci rostlin .....	41
Obr. 60 Blokové schéma hledání rostlin.....	41
Obr. 61 Nalezené body pro spojnice .....	42
Obr. 62 Čáry pro hledání rostlin.....	43
Obr. 63 Princip vykreslení šikmé čáry .....	43
Obr. 64 Snímky listů před a po rozdělení na rostliny .....	44
Obr. 65 Na snímku dva získané měřítka ze snímku jedna .....	45
Obr. 66 Jednoduché blokové schéma získání měřítka .....	45
Obr. 67 Snímek s pruhy pro určení velikosti před a po opravení chybějícího měřítka .....	46
Obr. 68 Jednoduché blokové schéma tvorby pruhů .....	46
Obr. 69 Ukázka indexování měřítka .....	47
Obr. 70 Tabulka s velikostmi rostlin .....	47
Obr. 71 Snímek znázorňující přírůst.....	48
Obr. 72 Blokové schéma funkce srovnání .....	49
Obr. 73 Výstupní data z určování přírůstu v centimetrech .....	49
Obr. 74 Grafické rozhraní .....	50
Obr. 75 Tlačítka v grafickém rozhraní .....	50
Obr. 76 Ovládací prvky Matlabu.....	51
Obr. 77 Tabulka pro zobrazení výstupních dat.....	51
Obr. 78 Grafické rozhraní po průběhu programu .....	51
Obr. 79 Rostliny a fotoaparát použitý pro testování. ....	52

## Seznam tabulek

Tab. 1 Výsledné hodnoty přírůstků z testovacích snímků .....	53
Tab. 2 Výsledné hodnoty přírůstků plochy listů z testovacích snímků .....	54
Tab. 3 Výsledné hodnoty přírůstků plochy listů rostlin z testovacích snímků .....	55

## Úvod

V dnešní době se s obrazovými detekčními systémy setkáváme každý den, ať jsme si toho vědomi nebo ne. Příkladem jednoduchého detekčního systému, s kterým se můžeme setkat, je detekování aut na křižovatce. Z údajů detekčního systému probíhá následné řízení křižovatky. Mezi složitější systémy patří detekce státních poznávacích značek. Těchto systémů se využívá například pro automatické zvedání závoří pro automobily s povolením vjezdu do areálů podniků. Detekční systémy se používají ve všech průmyslových odvětvích. A kde není dosud využíván, určitě se v nejbližších letech objeví.

Tato práce se zabývá návrhem detekčního systému z obrazového signálu pro detekování růstu zeleně. Systém zpracovává snímky a s jejich pomocí dochází k detekci růstu rostlin. Bude vytvořen v programovém prostředí Matlab. Při jeho tvorbě budou vytvořeny funkce tak, aby byly přenositelné do jiných programovacích jazyků. Pro detekci budou potřebné minimálně dva snímky. Systém je možno využít v zemědělství pro kontrolu stavu úrody atd.

V první kapitole je provedena analýza úpravy a zpracování obrazu nutné pro vývoj detekčního systému.

Ve druhé kapitole se provede analýza parametrů rostlin, které ovlivňují růst rostlin, pro vývoj detekčního systému

Ve třetí kapitole je proveden návrh detekčního systému a také návrh jeho testování se skutečnými parametry.

Ve čtvrté kapitole je postupně popsán v jednotlivých podkapitolách celý detekční systém po jednotlivých funkcích.

V páté kapitole je provedena analýza dat získaných z detekčního systému při použití testovacích snímků.

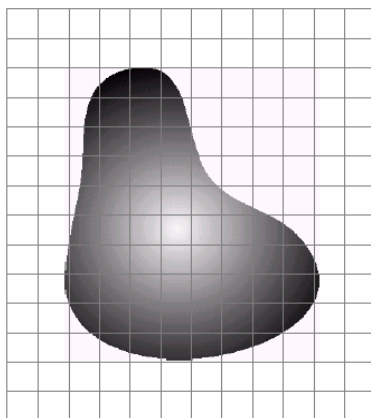
# 1 Úpravy obrazu

V této kapitole jsou popsány principy úpravy obrazu, které byly použity při zpracování návrhu detekčního systému pro růst zeleně. Dále jsou zde uvedeny základní parametry digitálního obrazu.

## 1.1 Parametry digitálního obrazu

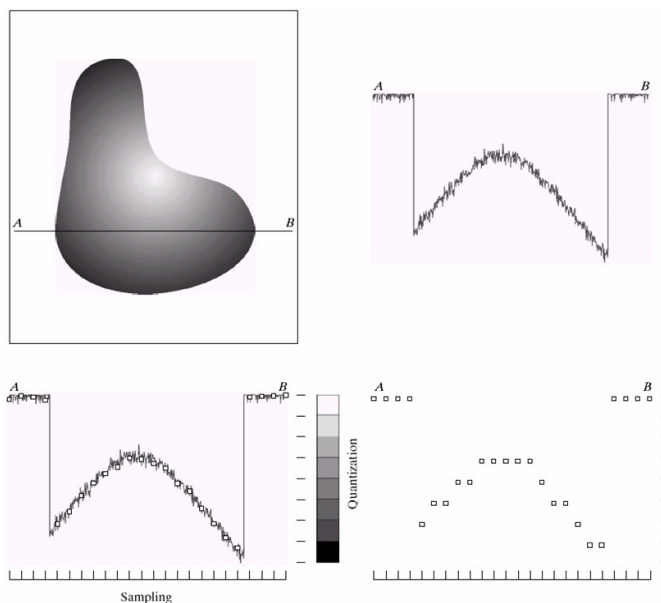
Obraz získaný z reálného světa je reprezentován spojitě, proto je ho potřeba digitalizovat pro další zpracování pomocí výpočetní techniky. Digitalizace obrazu je postup, při kterém se provádí vzorkování, kvantování a následné kódování obrazového signálu.

Při vzorkování se vytvoří matice s  $M \times N$  body přes spojitý obraz.



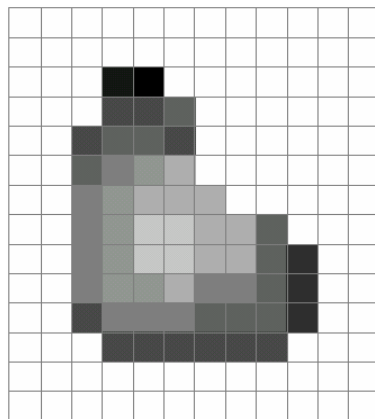
Obr. 1 Vzorkování obrazu [1]

Při kvantování převádíme ze spojitého do diskrétního spektra jasové úrovně. A to tak, že rozdělíme spojité jasové úrovně obrazu do  $K$  úrovní diskrétní. Vznikne nám tak jasové rozlišení.



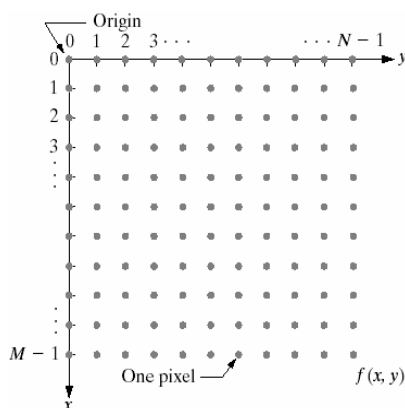
Obr. 2 Kvantování obrazu a vznik jasového rozlišení [1]

Čím budeme zvětšovat matici  $M \times N$  a počet jasových úrovní, tím bude možno lépe aproximovat původní spojitý obrazový signál. [2][3]



Obr. 3 Obraz po vzorkování a kvantování [1]

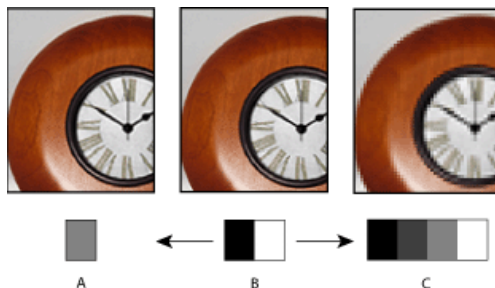
Po vzorkování a kvantování vznikne tabulka o rozměrech  $M \times N$ , kde jeden bod v tabulce je tzv. Pixel. Pixel je zkratka z anglických slov – picture element v překladu obrazový prvek. Je to nejmenší prvek digitální rastrové grafiky. U černobílých obrázků se pixel skládá ze souřadnic a intenzity černé barvy. U barevného pixelu je černá barva nahrazena červenou, zelenou a modrou – RGB nebo azurovou, purpurovou, žlutou a černou – CMYK. [2][4]



Obr. 4 Reprezentace digitálního obrazu [1]

## 1.2 Rozlišení obrazu

Je počet obrazových bodů na jeden palec. Pokud měníme velikost obrazu se zachováním počtu pixelů, musíme zkrátit vzdálenosti mezi pixely. A tím vzroste DPI. Pokud chceme zanechat DPI konstantní při zmenšování obrazu, musíme několik okolních pixelů nahradit jedním. U zvětšování obrázku vytvoříme z jednoho pixelu více pixelů tak, že budou úplně stejné nebo s přihlédnutím k barvě okolních pixelů.[5]



Obr. 5 Na obr. A je zmenšení obrázku, Na obr B je originální obrázek a na obr. C je zvětšení [5]

### 1.3 Převod na stupně šedi

Nezákladnějším způsobem práce s barvami obrazu je převod do odstínů šedi. Tento jednoduchý algoritmus se provádí jako jeden z prvních mezikroků v úpravě obrazů. Používá se vždy, když potřebujeme barevný obrázek převést na černobílou paletu. Barevný pixel se skládá z RGB složek. Tyto složky jsou na sobě nezávislé a jejich kombinací můžeme dosáhnout stupně šedi. Abychom toho dosáhly, je potřeba každý pixel obrazu vložit do jednoduchého empirického vzorce (1.1). Kde  $I$  je výsledná světelná intenzita a RGB jsou jednotlivé barevné složky.

$$I = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (1.1)$$

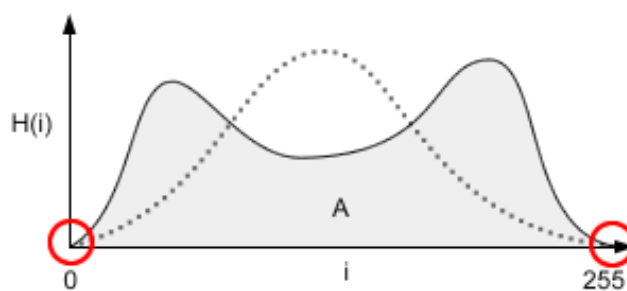
Tento vzorec vznikl ze studie vnímání citlivosti lidského oka na jednotlivé barevné složky.[6]



Obr. 6 Vlevo je původní obrázek, vpravo převedený na stupně šedi

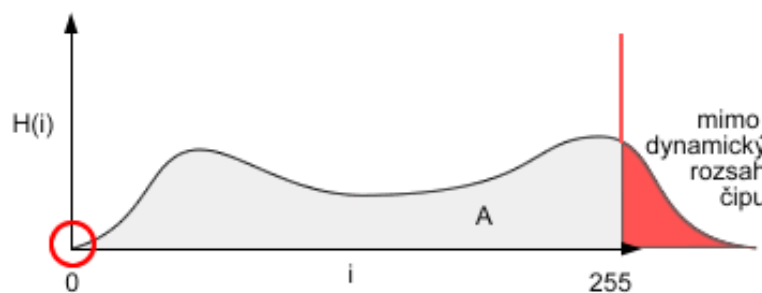
### 1.4 Histogram obrazu

Je graf rozložení počtu jasových složek v obraze. Kde na jedné straně je bílá a na druhé černá. Ideální expozice – začíná v bodě 0 a poté stoupá, dále může mít rozmanitý průběh a má končit v bodě 255. Obrázek s takovým histogramem obsahuje minimální počet černé a bílé. Obsah plochy pod křivkou histogramu je shodný pro stejně velké obrázky.



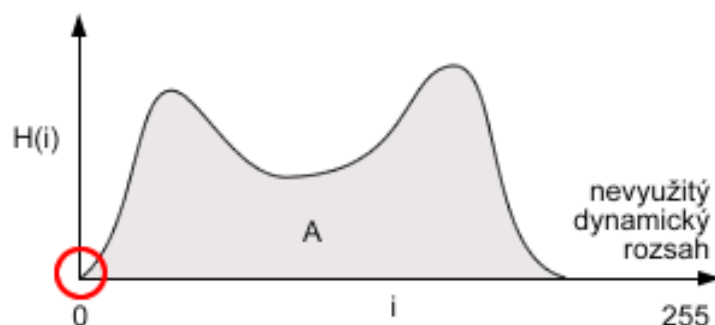
Obr. 7 Ideální rozložení histogramu [7]

Přexponované expozice – hodnoty na pravé straně jsou už mimo dynamický rozsah. Všechny body mimo histogram budou mít hodnotu 255. Úprava tohoto histogramu vede k jeho snížení.



Obr. 8 Histogram přexponovaného snímku [7]

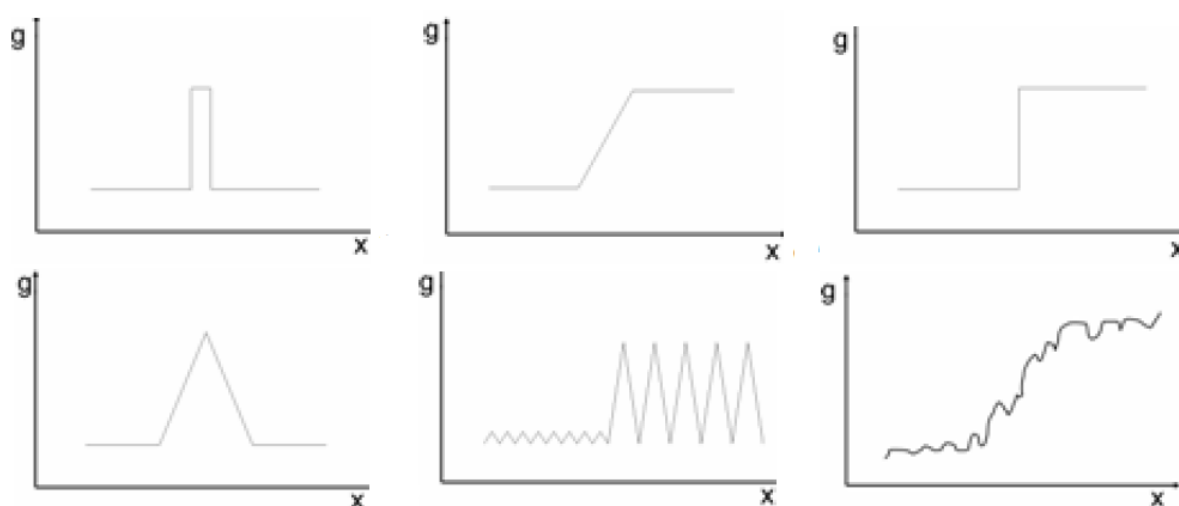
Podexponovaná expozice – při takové expozici je obrátek tmavý. Histogram se nachází v levé části a není využitý celý rozsah. Při úpravě takového histogramu dochází, ke zvýšení hladiny šumu a posterizaci – mezery v histogramu. [7]



Obr. 9 Podexponovaný histogram [7]

## 1.5 Detekce hran

Než popíšeme, jakým způsobem se detekuje hrana v obraze, vysvětlíme, co je hrana v digitálním zpracování obrazu. Zjednodušeně se dá říci, že hrana je oblast v obraze, kde dochází k velké změně intenzity. Bereme-li obraz jako funkci  $g$ , která v daném bodě získává intenzitu pixelu, můžeme brát za hrany zobrazené v průběžích funkce  $g$ , na Obr. 10 Ukázka tvaru hran.



Obr. 10 Ukázka tvaru hran [8]

Z obrázku je patrné, že detekování hrany je obtížné, protože může nabývat různých podob. V zásadě jsou pro to dva důvody.

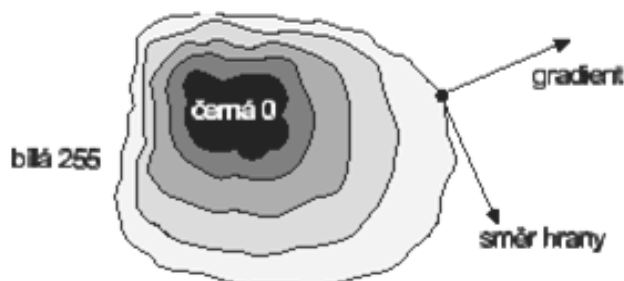
Prvním důvodem je příliš velká oblast, kde dochází ke změně intenzity. Poté je možno považovat za hranu celou oblast nebo jen její střed.

Druhým je všudypřítomný šum. Pokud je hrana zašuměna, obtížně se detekuje správná hrana. Šum se dá odstranit použitím správného filtru před detekcí hrany. Lze použít lineární nízkofrekvenční filtr nebo nelineární filtr jako je například medián.



Při detekování jednoduchých hran, je možno použít metodu založenou na první, či na druhé derivaci. Pro složitější typy hrany, jako je přechod dvou sousedících textur, je potřeba použít srovnávání se vzorem nebo statistickou metodu.

Po použití první derivace se vychází z toho, že v místech kde se nachází hrana, dochází k největší změně intenzity. Naopak v oblastech beze změny je derivace nulová. Metody první derivace jsou též nazývány metodami gradientními. [8]



Obr. 11 Gradient a směr hrany [3]

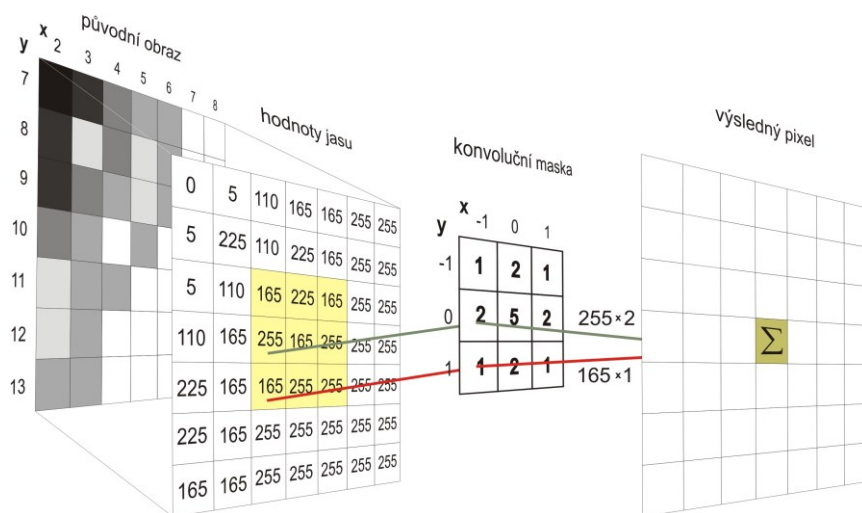
Provedeme-li parciální derivaci obrazu podle  $x$  a podle  $y$ , získáme vektor udávající velikost a směr gradientu. Gradient  $\nabla g(i, j)$  je vektor kolmý na vektor udávající směr hrany. Velikost hrany  $|\nabla g(i, j)|$  a úhlu  $\psi$ , který hrana svírá s osou  $x$  lze spočítat podle následujících vzorců. [8]

$$|\nabla g(i, j)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (1.2)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{\frac{\partial g}{\partial y}}{\frac{\partial g}{\partial x}}\right) \quad (1.3)$$

Parciální derivace pro diskretní obrazovou funkci se počítá těžko, proto je potřeba aproximovat vhodným výpočtem diferenciál. Nejpoužívanější je Centrální diferenciální rovnice 1.4, kde  $O$  udává řád chyby výpočtu. [8]

$$\Delta f(x) = \frac{(f(x+1) - f(x-1))}{2h} + O(h^2) \quad (1.4)$$



Obr. 12 Princip použití konvoluční masky [9]

Dalším a častěji používaným způsobem výpočtu jednotlivých složek gradientu je použití některého z konvolučních jader. Použijeme-li na obraz některé z konvolučních jader, výsledkem je velikost gradientu.[8]

Příklady některých konvolučních filtrů používaných pro úpravu obrazu.

**Laplaceov operátor**

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

**Sobelův operátor**

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

**Prewittův operátor**

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

**Robinsonův operátor**

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

**Kirschův operátor**

$$\begin{bmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & 3 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Jistě jste si všimli, že jsou výše uvedené hranové operátory jen variací na Centrální diferenciální rovnici 1.4. Tyto operátory se používají v jednom směru pro výpočet diferenciálu a ve směru kolmém, se používají filtry na potlačení vlivu šumu. Pro dosažení lepších výsledků, je potřeba obraz před použitím výpočtu gradientu rozmazat v obou směrech. [8]



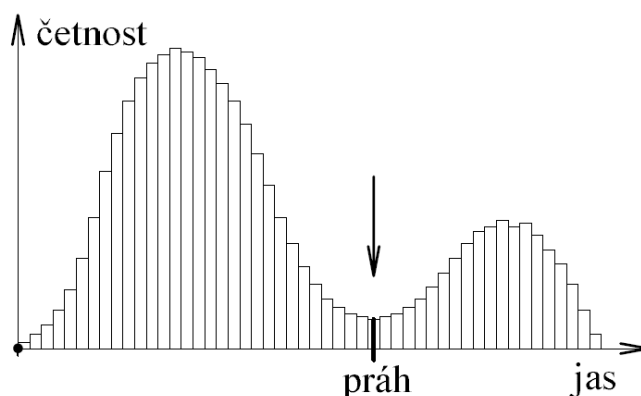
Obr. 13 Detekce hran s použitím osmi matic [9]

## 1.6 Prahování

Prahování je jednou z elementárních částí úpravy obrazu. Je to nejjednodušší metoda segmentace obrazu. Její nevýhodou je omezení parametrů a nastavení. Protože je jednoduše implementovatelná a časově nenáročná, využívá se nejčastěji.

Metoda prahování se dá následně popsat jednoduchou rovnicí. Pixelům, které jsou zachovány, bude nastavena hodnota jedna a ostatním nula.[3]

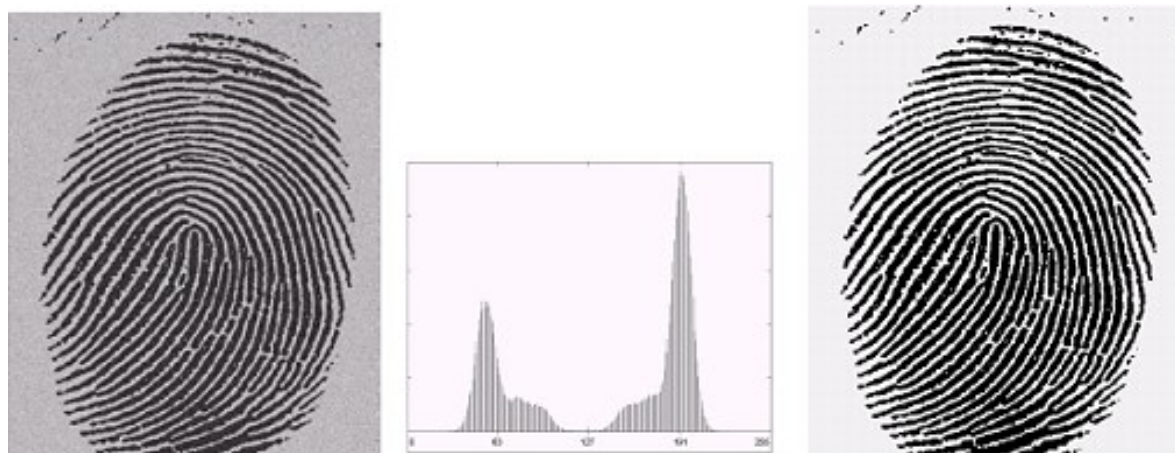
$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1.10)$$



Obr. 14 Bimodální histogram jasu [2]

Správné použití metody závisí na dobře zvolené prahovací hodnotě. Prahovací hodnota se stanoví ze základních informací o obrazu. U obrazu s bimodálním histogramem se určuje práh  $T$  tak, aby se nacházel mezi vrcholy. S bimodálního histogramu vyplývá, že existují dva druhy pixelů. Pixely náležící hledaným oblastem a pixely pozadí. Oba druhy pixelů se v obraze nacházejí ve velkém počtu, ale s jinou jasovou intenzitou, aby vznikly dva vrcholy v histogramu.

U snímků, kde jsou hodnoty jasu rozloženy různě po celém obraze, nelze najít jednu prahovací hodnotu. Je nutné zvolit několik prahovacích hodnot, které se budou měnit podle toho, jak bude třeba. Nebo obraz rozdělit do několika částí a prahování provést pro každou část zvlášť. [2]



Obr. 15 Oddělení pozadí pomocí prahování [3]

## 1.7 Morfologické metody

Morfologické operace se používají pro odstranění šumu z obrazu. Při použití morfologických metod pracujeme s obrazem  $X$  a strukturním elementem  $B$ . Strukturní element  $B$  slouží podobně jako maska konvoluce. Používá se pro každý jednotlivý pixel obrazu.

**Základní matematické morfologické operace:**

- Dilatace
- Eroze
- Otevření
- Uzavření
- Ztenčování
- Zesilování
- Kostra (skeleton)
- Transformace tref či miň

### 1.7.1 Dilatace

Dilatace slouží k zaplňování děr a zálivů v obraze tak, že zvětšuje objekty v obraze. Princip je takový, že dilatace skládá dvě množiny za pomoci vektoru součtu.

Definice:

$$X \oplus B = \{p \in \varepsilon^2, p = x + b, x \in X, b \in B\} \quad (1.11)$$

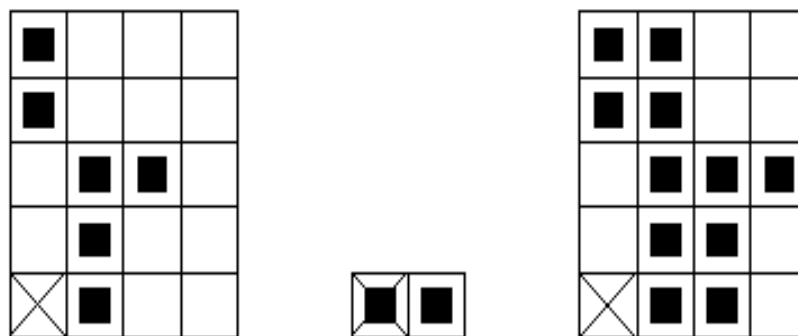
Dilatace má následující matematické vlastnosti:

- Komutativnost  $X \oplus B = B \oplus X$
- Asociativní  $X \oplus (B \oplus C) = (X \oplus B) \oplus C$
- Rostoucí transformaci *Když  $X \subseteq Y$ , tak  $X \oplus B \subseteq Y \oplus B$*

Rovnice dilatace se dá také zapsat ve tvaru:

$$X \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap X \neq \emptyset\} \quad (1.12)$$

Z rovnice vyplývá, že získáme zrcadlový obraz  $B$  z originálu tak, že posuneme zrcadlový obraz do  $z$ . Dilatace  $X$  je potom množina všech posunutí  $z$ . Kde se  $\hat{B}$  a  $X$  potkají, alespoň v jednom elementu. [3]



Obr. 16 Princip dilatace [3]

### 1.7.2 Eroze

Eroze je opačná operace k dilataci. Dochází k zmenšení objektů v obraze. Eroze se využívá k odfiltrování drobných nerovností a šumu.

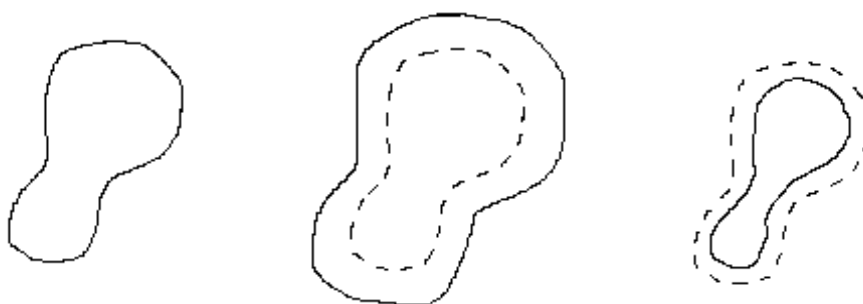
Definice:

$$X \ominus B = \{p \in \mathcal{E}^2, p + b \in X, \forall b \in B\} \quad (1.13)$$

Kde  $p$  je pixel, binární obrazový prostor je vyjádřen  $\mathcal{E}^2$ . Původní obraz představuje  $X$ ,  $B$  je strukturální element. Eroze skládá dvě bodové množiny pomocí rozdílového vektoru, není inverzní transformací k dilataci.

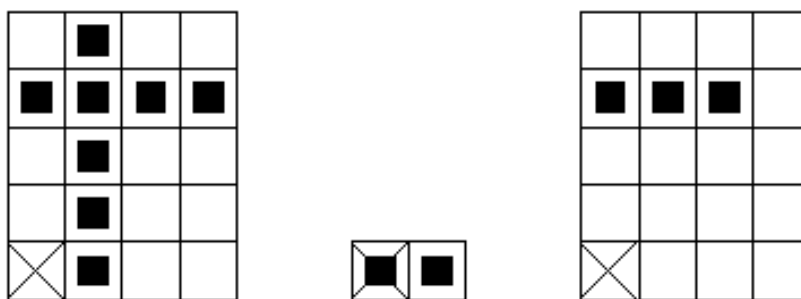
Rovnice eroze se dá také zapsat ve tvaru:

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A, \forall s \in S\} \quad (1.14)$$



Obr. 17 Rozdíl mezi dilatací a erozí [3]

Z rovnice vyplývá, že eroze  $A$  a  $B$  je množina všech bodů  $z$  takových, kde  $B$  je posunuto do  $z$  a náleží do  $A$ . Nejčastěji využívaný strukturální element je o velikosti 3x3. Shodně velký element se využívá také i u dilatace. Po využití eroze zmizí z obrazu osamělé body a obrysy objektu se zmenší o jednu vrstvu. Eroze se dá využít k získání obrysů objektů tak, že odečteme obrázek po erozi od obrázků před použitím eroze. [3]



Obr. 18 Princip eroze [3]

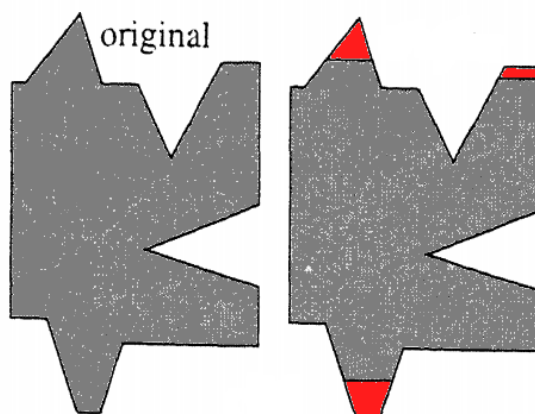
### 1.7.3 Otevření

Je metodou, která je kombinací eroze a dilatace. Otevření je invariantní vzhledem k posunu strukturálního elementu.

Definice:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (1.15)$$

Z rovnice vyplývá, že otevření je metoda, kdy se nejdříve provede eroze a následně dilatace. Pomocí otevření vyhladíme kontury objektu, zrušíme úžiny a odstraníme výčnělky. [3]



Obr. 19 Příklad otevření [10]

Otevření oddělí dva objekty spojené tenkou šíjí a odstraní menší výčnělky. Pokud se obraz po užití metody otevření strukturním elementem  $B$  nezmění, říkáme, že takový obraz je otevřený vzhledem ke strukturnímu elementu  $B$ .

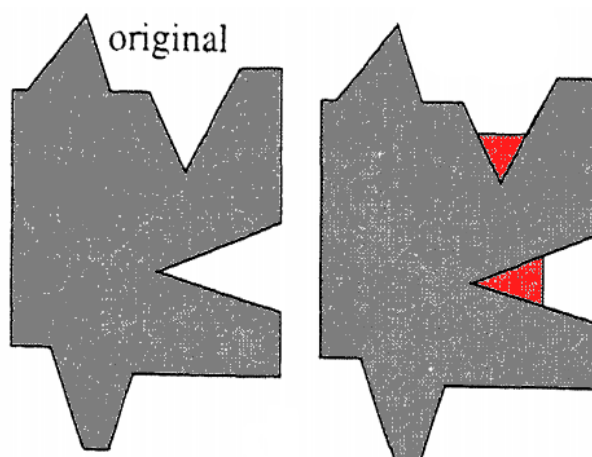
#### 1.7.4 Uzavření

Je to metoda, kdy se nejprve provede dilatace, a následně eroze. Uzavření taktéž vyhlazuje kontury objektů, jako otevření. Dále spojuje úzké mezery, úzké dlouhé zálivy, odstraňuje malé díry a vyplňuje mezery v konturách.

Definice:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (1.16)$$

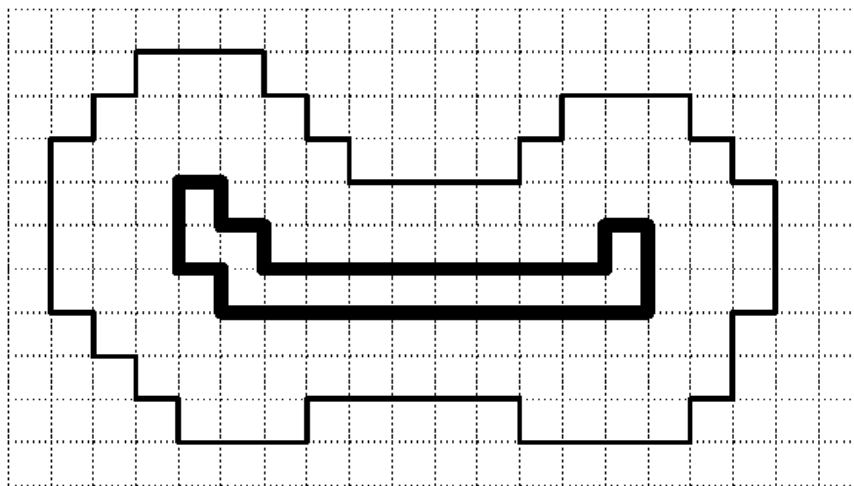
Z rovnice vyplývá, že nejprve provedeme dilataci strukturním elementem  $B$ , a v druhém kroku erozi strukturním elementem  $B$ . Když se obraz po užití metody uzavření strukturním elementem  $B$  nezmění, říkáme, že takový obraz je uzavřený vzhledem ke strukturnímu elementu. [3]



Obr. 20 Příklad uzavření [10]

### 1.7.5 Ztenčování

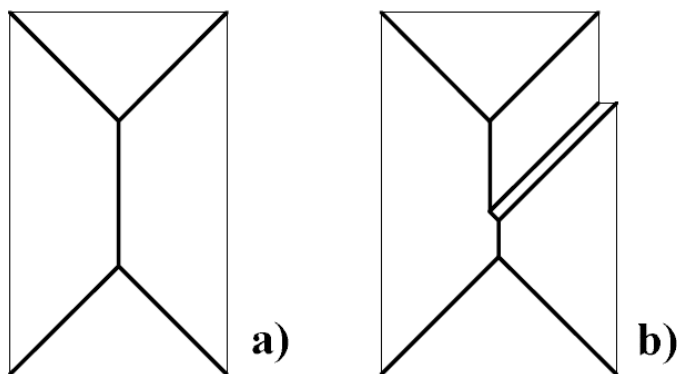
Pomocí ztenčování se snažíme získat objekty v obraze jako lineární útvary. Lze ho realizovat pomocí opakovaného použití eroze. Každá eroze musí být modifikována tak, aby nedocházelo k poškození celistvosti objektu. Ztenčování probíhá tak, že jsou vybrány pixely, které budou odstraněny z objektu. Následně se zjišťuje, zda při odstranění vybraných pixelů, nedojde k rozdělení objektu na části. Pokud by mělo dojít k rozdělení, pixel je ponechán. V opečeném případě je odstraněn. Eroze se provádí opakovaně, dokud jsou odstraňovány pixely. [2]



Obr. 21 Objekt před a po provedení ztenčení [2]

### 1.7.6 Kostra (skeleton)

U metody kostry se také snažíme získat z objektu lineární útvar. Často se setkáváme s následnou definicí kostry: Oblast, ve které hledáme kostru, si představíme jako trávník. Když trávník po celém jeho okraji zapálíme, za podmínky, že oheň bude hořet stejně rychle ve všech směrech. Pak místo kde se ohně setkají, nazveme kostrou. Kostrou oblasti ve tvaru kruhu je její střed. Na Obr. 22 a) můžete vidět kostru obdélníku. Na Obr. 22 b) je případ, kdy mohou vzniknout problémy. Použijeme-li doslovně, výše uvedenou definici na obdélník s menším výstupkem na pravé straně. Tento výstupek mohl vzniknout jako chyba. Při implementaci algoritmu je potřeba, aby podobné chyby byly potlačeny. [2]



Obr. 22 a) Kostra obdélníka b) Vliv chyby způsobené digitalizací [2]

### 1.7.7 Transformace tref či miň

Je založena na hledání shody strukturního elementu s částí obrazu. Strukturní element představuje vzor, který se hledá v obraze. Může například vyhledávat rohy v obraze a hranice objektů. V metodě se používá složený strukturní element  $B$ , který je složen z dvojic disjunktních množin  $B = (B_1; B_2)$ .

Definice:

$$X \otimes B = \{x: B_1 \subset X, B_2 \subset X^c\} \quad (1.17)$$

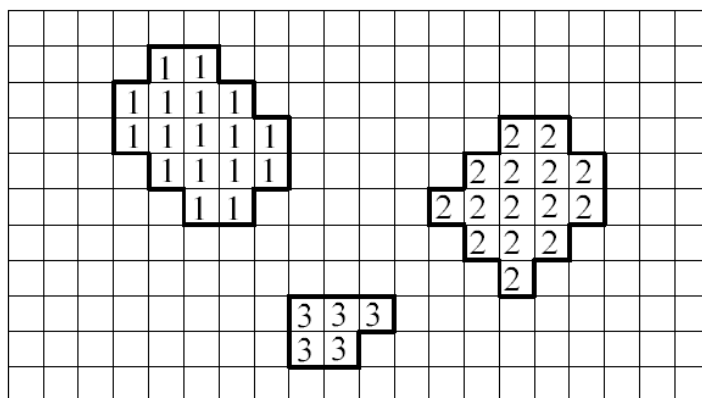
Bod  $x$  bude ve výsledné množině, pokud budou splněny dvě podmínky. Musí být část  $B_1$  složeného strukturního elementu s bodem v poloze  $x$  obsažena v  $X$ . A dále nesmí být část  $B_2$  složeného strukturního elementu obsažena v  $X^c$ . Metoda se používá pro ztenčování, ztlustňování nebo hledání kostry objektu. [11]



Obr. 23 původní obraz a obraz po užití metody tref či miň [11]

### 1.8 Indexování

Dalším krokem při zpracování binárního obrazu je použití indexování oblastí. To znamená, že každé oblasti, nebo rozpoznanému objektu je přiřazeno indexové číslo. Každý pixel daného objektu dostane stejné číslo. Číslo objektu jsou vždy rozdílná. Za objekty považujeme pixely, které vedle sebe sousedí, a jejich hodnota v binárním obraze je 1. Při rozhodování, zda pixely jsou pixely sousední nebo ne, bereme v úvahu tzv. čtyřsousednost a osmisousednost. Představíme-li si pixely vyobrazeny na Obr. 24. Při čtyřsousednosti považujeme sousední pixel ten, který má s druhým pixelem společnou stranu. Každý pixel může mít maximálně čtyři sousedy. Ale při osmisousednosti považujeme za sousedy, pixely ve všech směrech. Takže při osmisousednosti mohou být sousedy i pixely které se dotýkají pouze rohem. Každý pixel může mít až osm sousedů. [2]

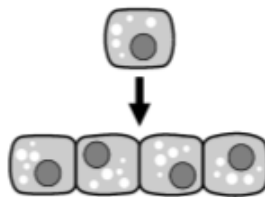


Obr. 24 Indexování oblastí [2]



## 2 Růst a vývoj rostlin

Jsou dvě fáze růstu rostlin a jejich částí. Dělivý růst a prodlužovací růst. U dělivého růstu probíhá dělení buněk (mitózy), je pomalý a je zajišťován vrcholovými meristemy. [12] [13]

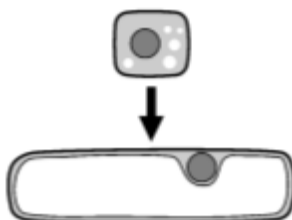


Obr. 25 Dělivý růst [12]

Při prodlužovacím růstu probíhá zvětšení buněk. Je to rychlý proces. V průběhu růstu orgánu dochází k diferenciaci pletiv. [12] [13]

### 2.1 Vnitřní faktory růstu rostlin

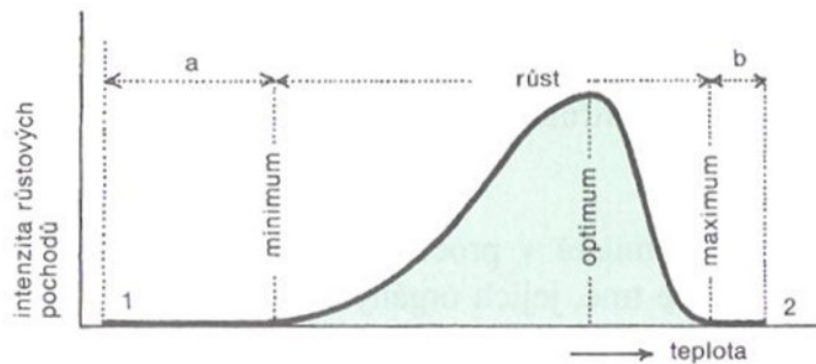
Aby rostlina měla dostatek stavebních látek, je potřeba vhodných podmínek pro fotosyntézu. Rostlina vylučuje fytohormony, řídicí látky ovlivňující růst. Primární meristery vylučují stimulatory podporující růst. Nejvýznamnější stimulatory, jsou auxiny, které podporují růst stonku a tvorbu kořenů. V praxi se využívají i umělé simulátory a to například pro vegetativní rozmnožování rostlin. Dále jsou cytokiny, existuje jich asi 20 druhů. Podporují růst kořenů a xylém. Urychlují dělení buněk, pomáhají regeneraci, tvarování plodů a také zpomalují stárnutí. Zvyšují výnosy z obilí, podporují růst biomasy. Pomáhají zvládání stresových situací, jako je okus nebo extrémní teploty. Dalšími simulátory jsou gibereliny. Existuje jich více než 100 druhů. Podporují růst všech rostlinných orgánů. Zvyšují dělení buněk a stimulují prodlužování prýtu. Umožní klíčení semen a zpomalují stárnutí rostlin. [12] [13]



Obr. 26 Prodlužovací růst [12]

### 2.2 Vnější faktory růstu rostlin

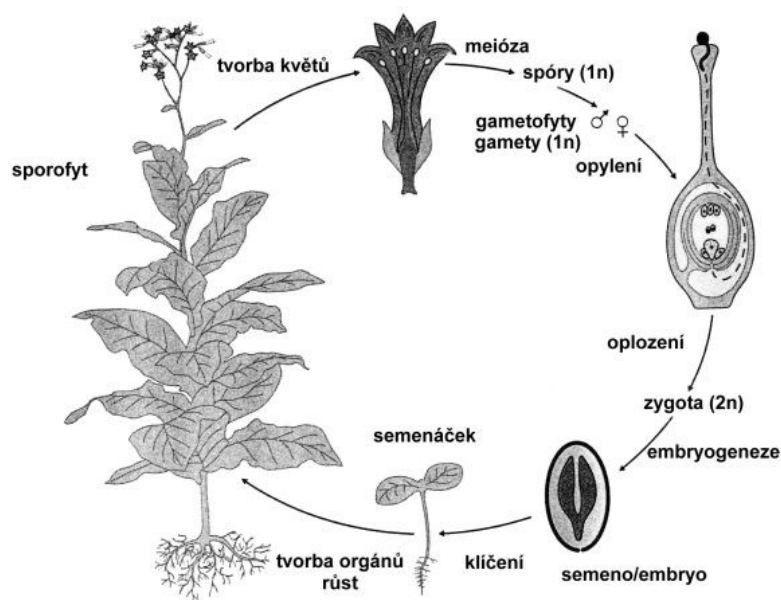
Pro správný růst rostlin je nejdůležitější optimální teplota. A nejen během vegetační sezony, ale také v období vegetačního klidu. Dalším faktorem ovlivňujícím růst rostlin je světlo. Jeho důležité parametry jsou intenzita, kvalita (vlnová délka) a také délka dne. Krátkodenní rostliny jsou původní z tropů, nemívají období vegetačního klidu a vyžadují osvětlení přibližně 12 hodin denně. Dlouhodenní rostliny pocházejí z mírného a studeného pásu, ve vegetační sezoně potřebují osvětlení až 16 hodin denně. Pro syntézu látek, je potřeba dostatečné množství všech minerálních živin. Negativním faktorem ovlivňujícím růst rostlin je znečištění prostředí. Oxid uhličitý způsobuje poškození asimilační parenchym, snižuje klíčivost semen. Poléťavý prach ucpává průchody, zabraňuje přístupu světla. Zvýšené množství soli v půdě má za příčinu, že rostliny nemohou přijímat vodu. [12] [13]



Obr. 27 Graf znázorňující závislost růstu na teplotě [14]

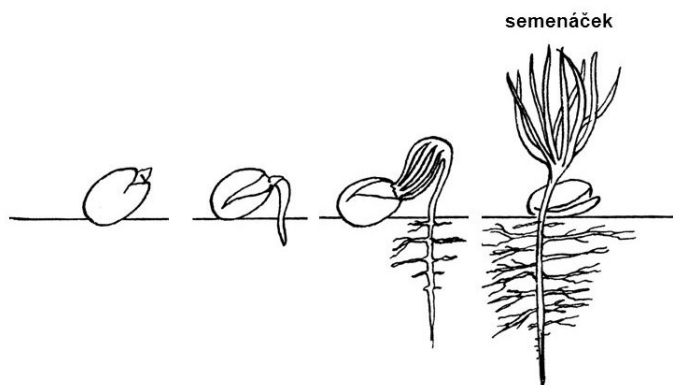
## 2.3 Vývoj rostlin

Vývoj rostliny je kvalitativní změna. Probíhá od zygoty až do smrti (ontogeneze). Existují čtyři fáze vývoje rostlin. První fází je embryonální, od zygoty k dozrání semene. Další je vegetativní fáze, probíhá od klíčení semene přes vznik vegetativních orgánů, pouze k vegetativnímu rozmnožování. Třetí fází je dospělost, při které vznikají reprodukční orgány. Pro vegetativní i pohlavní rozmnožování. Poslední fází je stárnutí. V této fázi dochází k odumření rostliny. [12] [13]



Obr. 28 Životní cyklus rostlin [16]

Vegetativní klid neboli dormance už patří také do vývoje rostlin. Při vegetačním klidu dochází ke snížení fyziologických funkcí a fungování fytohormonů. Existují dva typy. První je vynucená, dochází při změně vnějších podmínek, lze ji přerušit. Ke druhému typu dochází z vnitřních příčin, hormonální snížení fyziologických funkcí. Nelze ji přerušit. [12] [13]



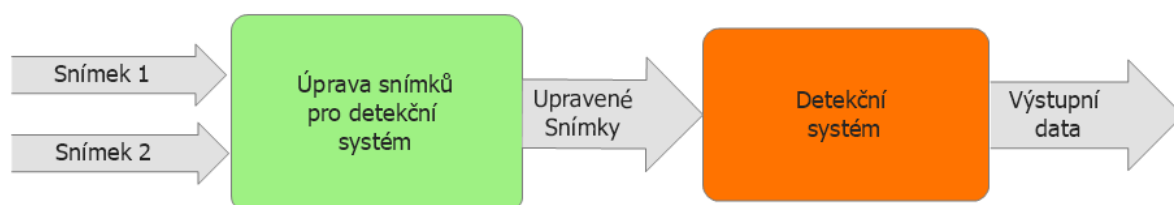
Obr. 29 Vývoj rostliny [15]

Klíčení semen je jednou z nejdůležitějších funkcí rostlin. Aby mohla nastat, je třeba dodržet několik faktorů. Jedním z nich je přechod z období klidu do období růstu. Dalším faktorem je nasávání vody semene. Posledním faktorem ovlivňujícím klíčivost jsou vnější vlivy jako vlhkost, teplota, kyslík. [12] [13]

Rostliny můžeme rozdělit podle životního cyklu. Efeméry jsou rostliny, jejichž vývoj trvá několik dní. Ozimy jsou rostliny, které se sejí na podzim, kdy klíčí. Poté přezimují a na jaře dále rostou. Jednoleté rostliny jsou takové, které žijí pouze jeden rok. Přezimuje jen semeno. Dvouleté rostliny rostou dva roky. Prvním rokem rostou jen listy a druhým dospějí. Poslední typ rostlin jsou rostliny vytrvalé. Tyto rostliny se dělí na dvě kategorie. První kvetou jen jednou za život, a druhé vykvétají a plodí hojně. [12] [13]

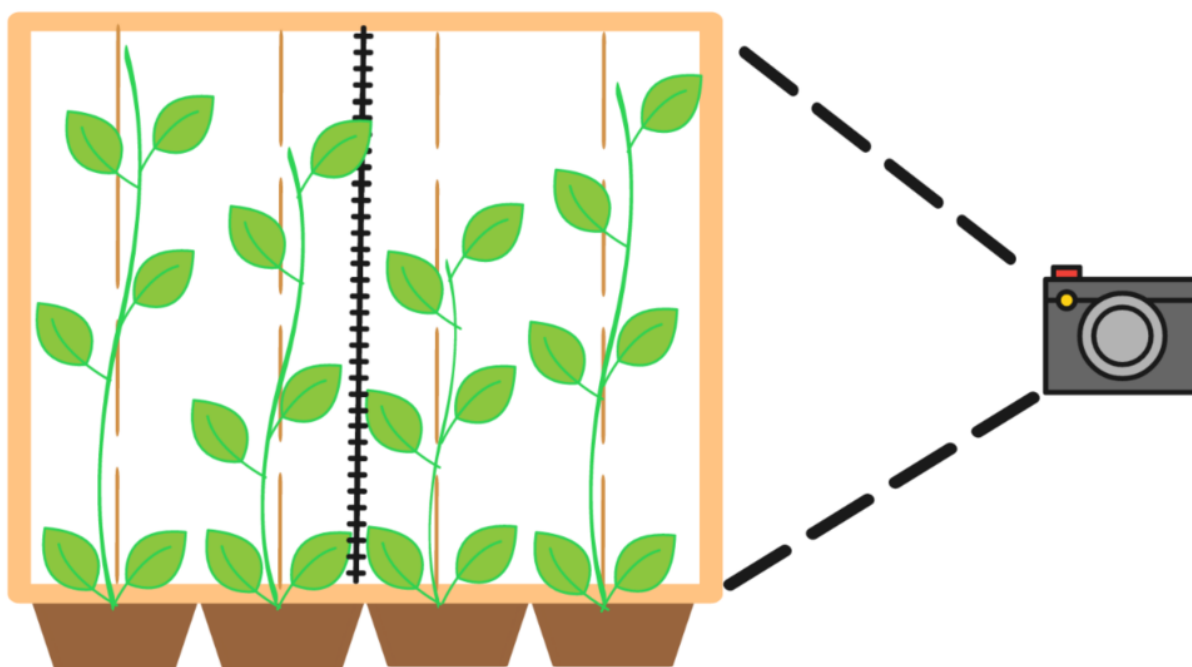
### 3 Návrh systému pro analýzu rostoucí vegetace

Navržený systém bude sloužit pro detekci růstu zeleně. Budou srovnávány dva snímky. Z těchto snímků získáme tyto parametry. Jedním z hlavních parametrů je procentuální přírůst zeleně. Další parametr je velikost přírůstu rostliny v centimetrech. Na snímcích bude sledováno více rostlin. Informace získané z těchto snímků budou pro každou rostlinu zvlášť. Systém bude tvořen v programu Matlab. Nebudou použity již vytvořené funkce pro úpravu obrazu, ale pro všechny úpravy budou vytvořeny vlastní funkce.



Obr. 30 Blokový návrh systému pro analýzu vegetace

Jak můžete vidět na blokovém návrhu, systém se skládá ze dvou základních bloků. Do prvního bloku vstupují dva snímky. Snímky jsou pořizovány fotoaparátem podle rychlosti růstu rostlin, anebo denně ve stejném čase. Tyto snímky jsou upraveny v prvním bloku, pomocí funkcí pro úpravu obrazu. Tyto upravené snímky vstupují do detekčního systému. Detekční systém filtruje nepotřebná data a analyzuje snímky tak, aby byla získána potřebná výstupní data.



Obr. 31 Návrh umístění rostliny a fotoaparátu.

Snímky budou pořizovány fotoaparátem Canon EOS 1200D s objektivem EFS 18 -55 mm umístěným na stativu. O rozlišení 2592 x 1728 to je 4,5 megapixelů. Jako testovací rostliny budou použity fazole. Vysazeny budou čtyři rostliny a v pozadí bude umístěno měřítko pro určení velikosti přírůstu rostlin v cm.

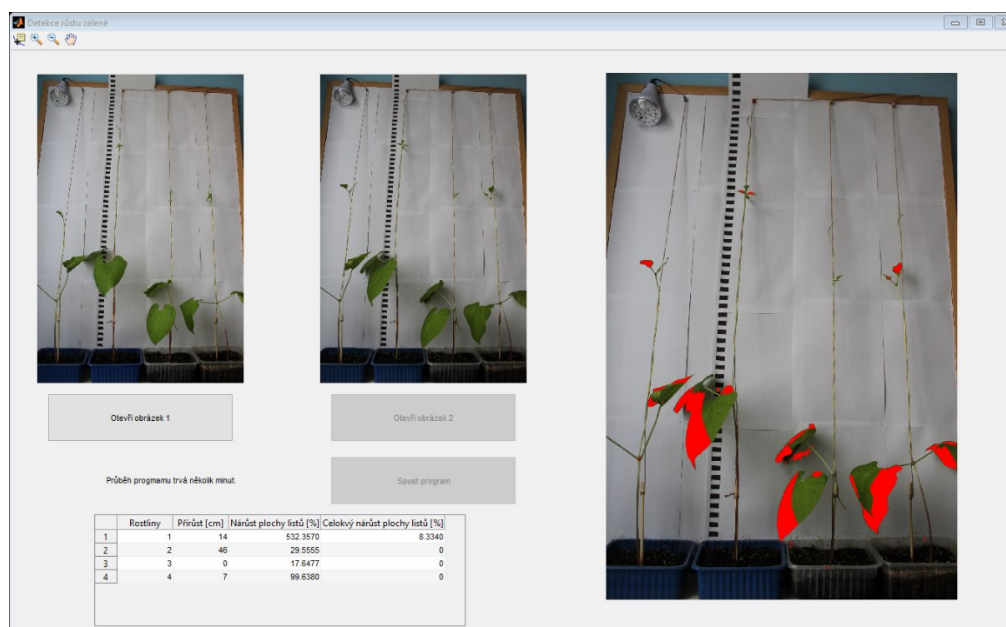
## 4 Realizace systému pro analýzu rostoucí vegetace

V této kapitole je popsán řešení systému pro analýzu rostoucí vegetace. Systém byl realizován v programu Matlab. Všechny funkce jsou nově vytvořeny, bez použití již existujících funkcí v Matlabu. Každá funkce je umístěna ve vlastní sekci. Při testování, se dá spustit jen zvolená sekce, a to umožňuje lepší nastavení parametrů. V hranatých závorkách jsou umístěny výstupní data. V kulatých závorkách za funkcí jsou umístěny vstupní data. Do systému vstupují dva snímky. Na výstupu jsou naměřená data a snímek, ve kterém je přírůst označen červenou barvou.

```
27 %%  
28 [Jas_svetly1] = Fnc_filtrace_zelene(Jas1,obraz1);  
29 [Jas_svetly2] = Fnc_filtrace_zelene(Jas2,obraz2);  
30  
31 %%  
32 [Derivace1] = Fnc_Derivace_Sobel(Jas_svetly1);  
33 [Derivace2] = Fnc_Derivace_Sobel(Jas_svetly2);  
34 %%  
35 [cerno_bili1] = Fnc_cerno_bila(Derivace1);  
36 [cerno_bili2] = Fnc_cerno_bila(Derivace2);  
37 %%  
38  
39 [cerno_bili_bez_sumu1] = Fnc_Eroze_matice(cerno_bili1);  
40 [cerno_bili_bez_sumu2] = Fnc_Eroze_matice(cerno_bili2);
```

Obr. 32 Ukázka rozdělení programu do funkcí

Z předchozí kapitoly vyplývá, že program je členěn do dvou hlavních částí. První část je úprava obrazu, která je nutná před samotnou detekcí růstu zeleně. Z programu je možné získat snímek z jakékoli fáze úpravy. Snímky nejsou mazány, protože jsou potřebné v detekční části.



Obr. 33 Grafické rozhraní.

Pro jednodušší ovládání a přehlednější zobrazení výstupních dat, bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní. Které se skládá ze tří aktivních tlačítek, jedné tabulky a grafů pro zobrazení snímků. Protože program zpracovává velké množství dat, jeho průběh trvá několik minut.

## 4.1 Úprava snímků

Tato část se zabývá úpravou snímků a skládá z osmi funkcí. Každá funkce může být využita pro jiné aplikace, kde je nutná úprava obrazu. Funkce postupně upravují snímky tak, jak je vyobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 34 Diagram částí pro úpravu snímků

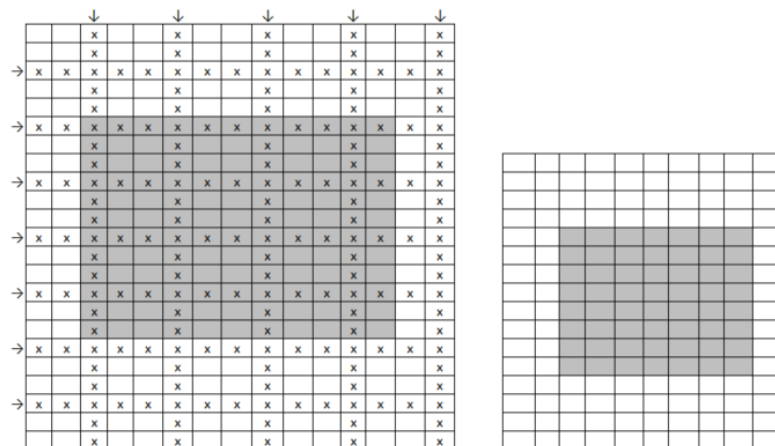
Může se zdát, že některé úpravy jsou zbytečné. Když ve čtvrté funkci zvýrazňuji objekty zelené barvy, proč je rovnou nevytáhnout z obrazu a zbytek neodfiltruji. Každá úprava snímku je buď potřebná v detekční části, nebo bez ní není možné vykonat potřebnou úpravu snímku. Některé úpravy jsou znovu použity i uvnitř některých funkcí v detekční části.



Obr. 35 Upravené snímky uspořádané podle toho, jak jsou funkce prováděny

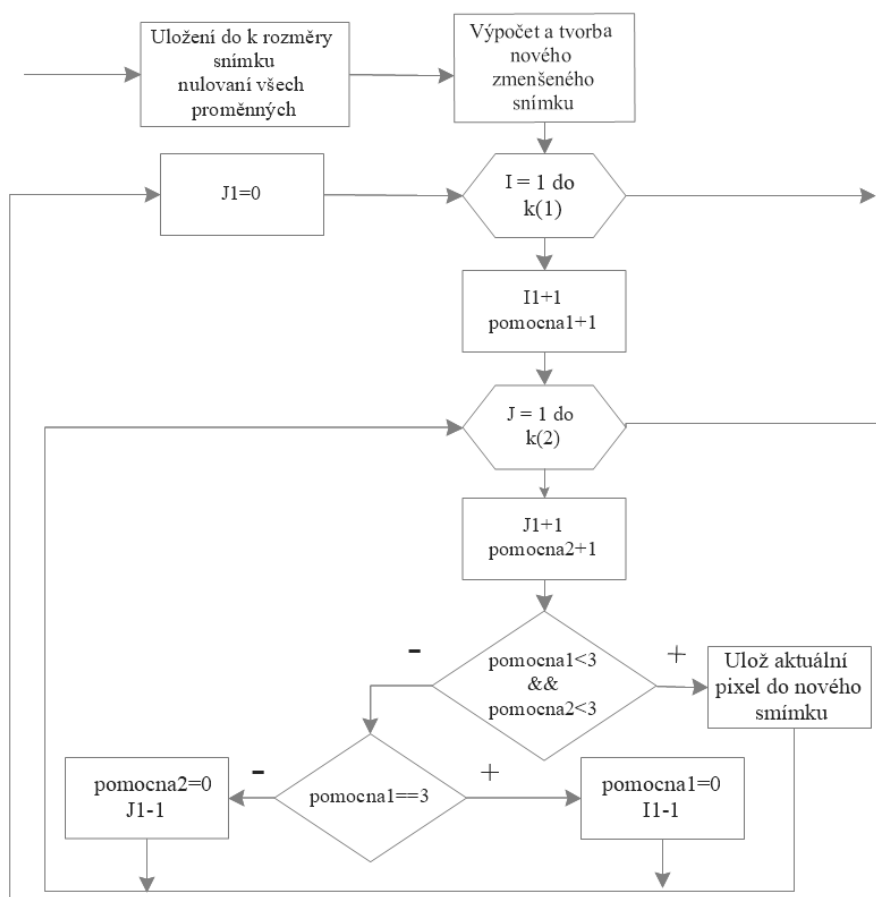
#### 4.1.1 Zmenšení velikosti snímků

Snímky byly pořízeny v kvalitě 2592 x 1728 pixelů. Což je 4 478 976 pixelů. Aby další úpravy probíhaly rychleji, je nutné snížit kvalitu obrazu. Snížení se musí provést tak, aby šla vykonat detekce. Snížení je provedeno ztrátově. Jsou vynechány určité pixely. Při snížení o 1/3 zůstane obraz o rozlišení 1152 x 1728 pixelů.



Obr. 36 Princip ztrátového snížení kvality obrazu

Na obrázku lze vidět princip ztrátového odstranění pixelů. Tak, že třetí řada a sloupec jsou odstraněny. Po odstranění lze poznat obdélník, který byl i na původním obrázku.



Obr. 37 Vývojový diagram funkce zmenšení snímku



#### 4.1.2 Převod do stupňů šedi

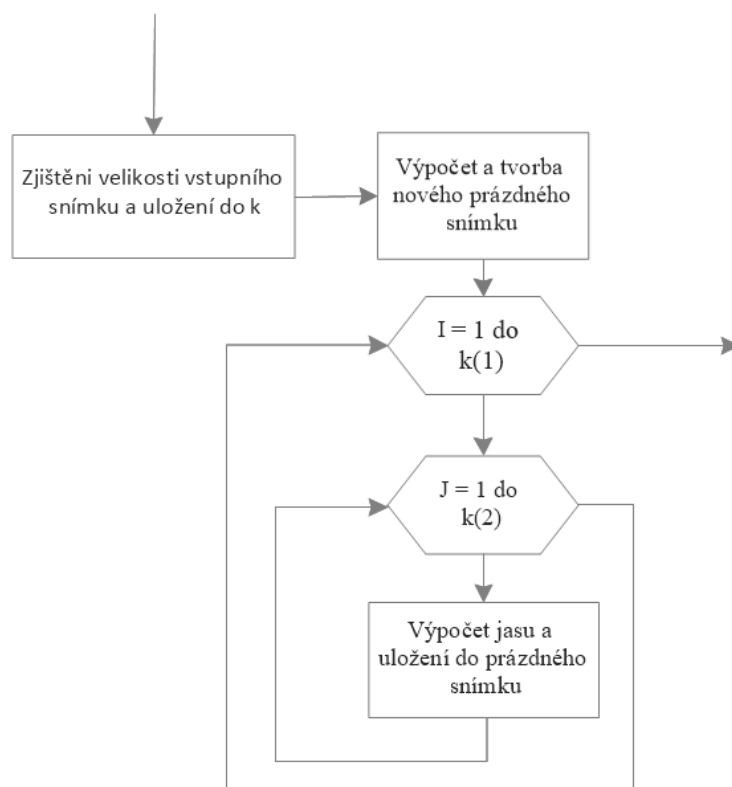
Další funkcí vytvořenou pro úpravu snímků je převod do stupňů šedi. Funkce vezme barevný pixel a vynásobí každou barvu určitým koeficientem. Po násobení se sečtou barvy a uloží do nového pixelu jako stupně šedi. Toto provede se všemi pixely.

$$I = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B$$

(4.1)



Obr. 38 První je vstupní snímek a druhý po převodu na stupně šedi

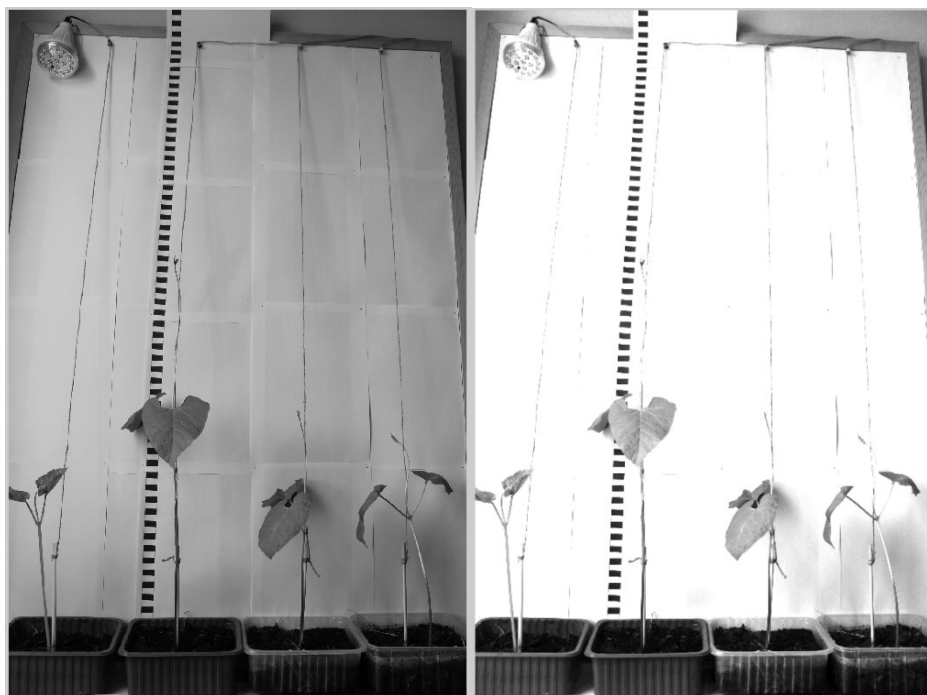


Obr. 39 Vývojový diagram převodu na stupně šedi



### 4.1.3 Zvětšení kontrastu

Změna kontrastu se používá, aby odfiltrovala nepotřebné pozadí snímku a zvýraznila objekty. Jak si můžete všimnout na následujícím obrázku. V první části obrázku je snímek ve stupních šedi a na druhém po změně kontrastu. Díky tomu jsou odfiltrovány nežádoucí pruhy v pozadí.

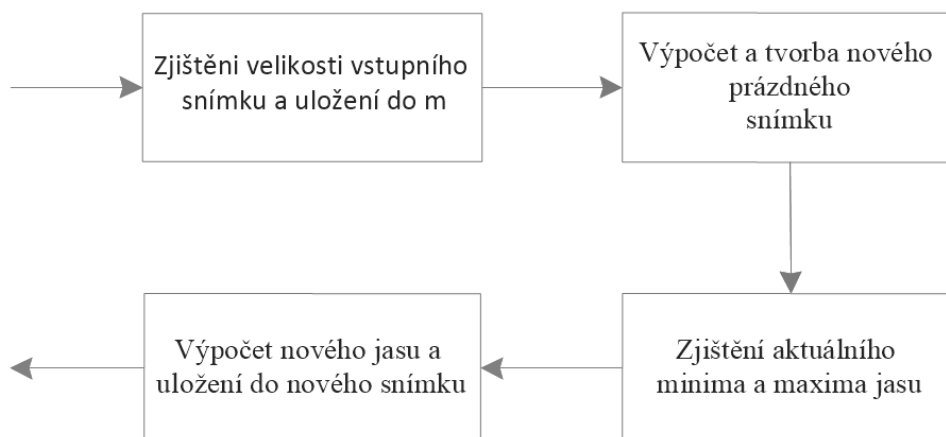


Obr. 40 První snímek jsou stupně šedi a druhý po změně kontrastu

Funkce funguje podle následující rovnice:

$$\text{nový kontrast} = (\text{kontrast} - \text{minimum}) * \left( \frac{\text{nové maximum} - \text{nové minimum}}{\text{maximum} - \text{minimum}} \right) * \text{nové minimum} \quad (4.2)$$

Nový kontrast dostaneme tak, že určíme nové maximum a minimum kontrastu v procentech. Ze snímku získáme aktuální minimum a maximum v procentech. Poté odečteme aktuální hodnotu kontrastu od minima. A vynásobíme rozdílem nového maxima a minima, které podělíme rozdílem minima a maxima a vše násobíme novým minimem.



Obr. 41 Zjednodušený vývojový diagram úpravy kontrastu

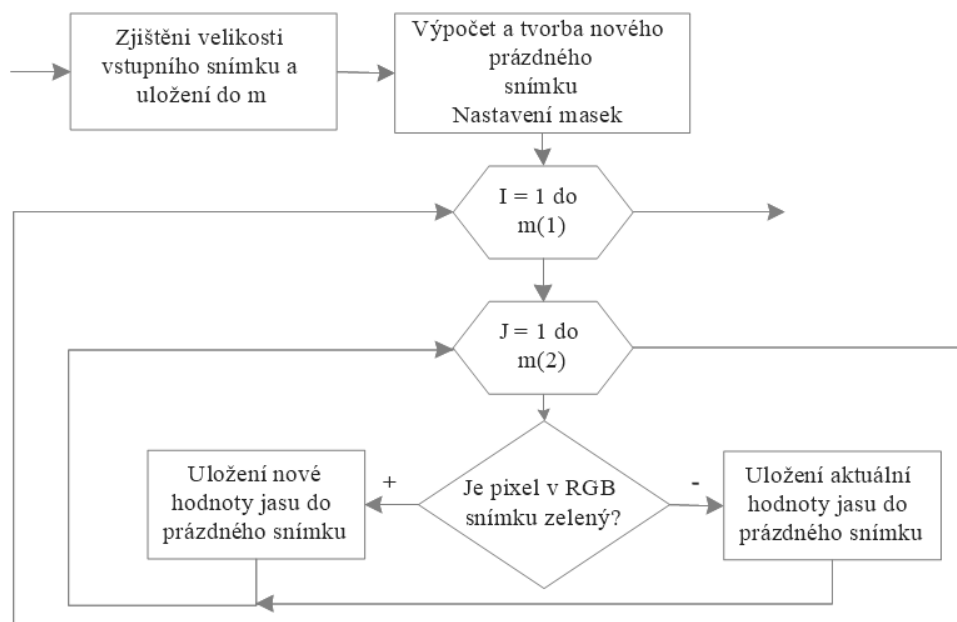
#### 4.1.4 Zvýraznění zelených objektů

Zvýraznění zelené barvy z původního snímku, ve snímku po změně kontrastu, je použito proto, aby bylo odstraněno nežádoucích vlivů, které mohou vzniknout následnou úpravou. Tyto vlivy jsou stíny, které vznikají pod listy. Je to patrné na Obr. 42 na prvním snímku. Tyto stíny ovlivňují další úpravy snímku. Například použití derivačního filtru Sobel. Tato chyba je zobrazena na snímku dva, jako bílý šum pod listy.



Obr. 42 První snímek je zvětšení kontrastu, druhý je použití detekce hran na první snímek a poslední je zvýraznění zelené barvy v kontrastovém snímku

Funkce nastavuje pevnou hodnotu jasu u zelené barvy. Čím nižší jas tím tmavší šedá ve stupních šedi. Je nastavená hodnota na 0,03494, kdy černá barva má hodnotu 0 a bílá 1. Zvýraznění zelené barvy probíhá na základě jednoduchého principu. V barevném snímku nalezneme zelenou barvu. V RGB musí být jasová složka zelené barvy největší, na místě kde jí najde, se nastaví jas na určenou hodnotu.



Obr. 43 Vývojový diagram zvýraznění zelené barvy

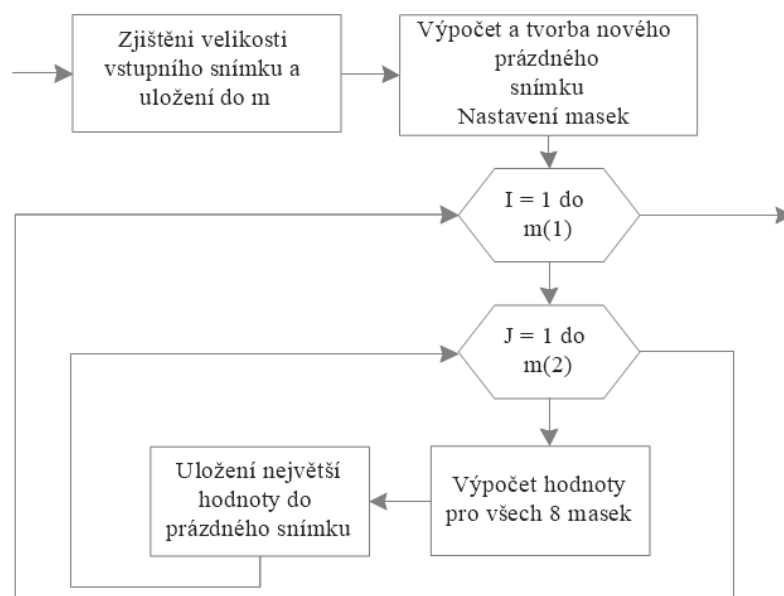
#### 4.1.5 Detekce hran – Sobelův operátor

Pro detekci hran byl použit Sobelův operátor, je složen z osmi masek, ty jsou uvedeny v teoretické části. Každá z osmi masek je použita na všechny pixely. Pro jeden pixel se použije všech osm masek a do výsledného pixelu se uloží nejvyšší hodnota. I když snímek vypadá jako černobílý, stále je to jasový snímek, který je potřeba upravit v následujícím kroku prahováním.



Obr. 44 Na prvním snímku je jasový obraz se zvýrazněnou zelenou barvou a na druhém je jasový obraz se výraznějšími hranami

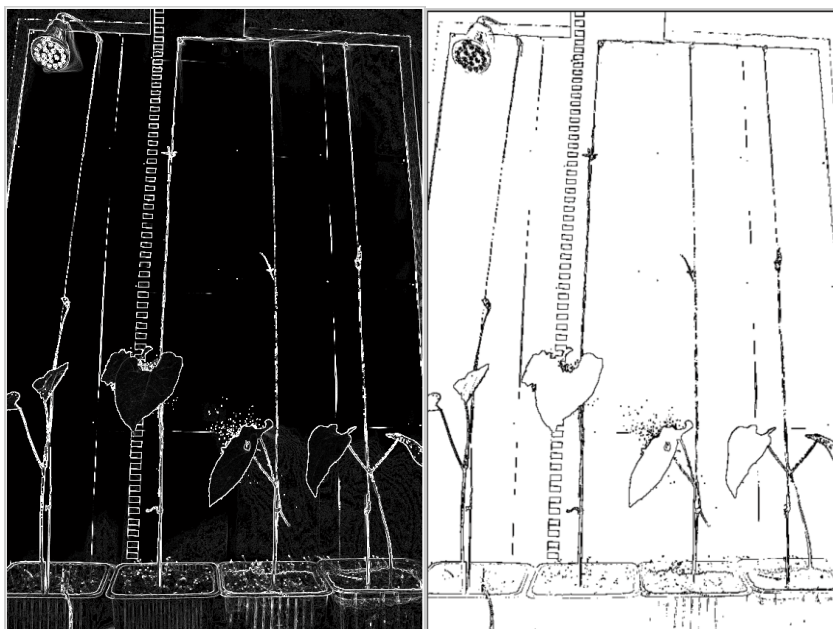
Jak můžete vidět na obrázku ve snímku dva, jsou zvýrazněny bílou barvou všechny hrany ze snímku jedna. Zároveň různé šумы, například u třetí rostliny zleva. Tyto šумы se dají odstranit morfologickými operacemi. Dále jsou zde stíny pod listy znárodněné šedou barvou. Pro jejich odstranění je použita následující funkce.



Obr. 45 Zjednodušený vývojový diagram detekce hran

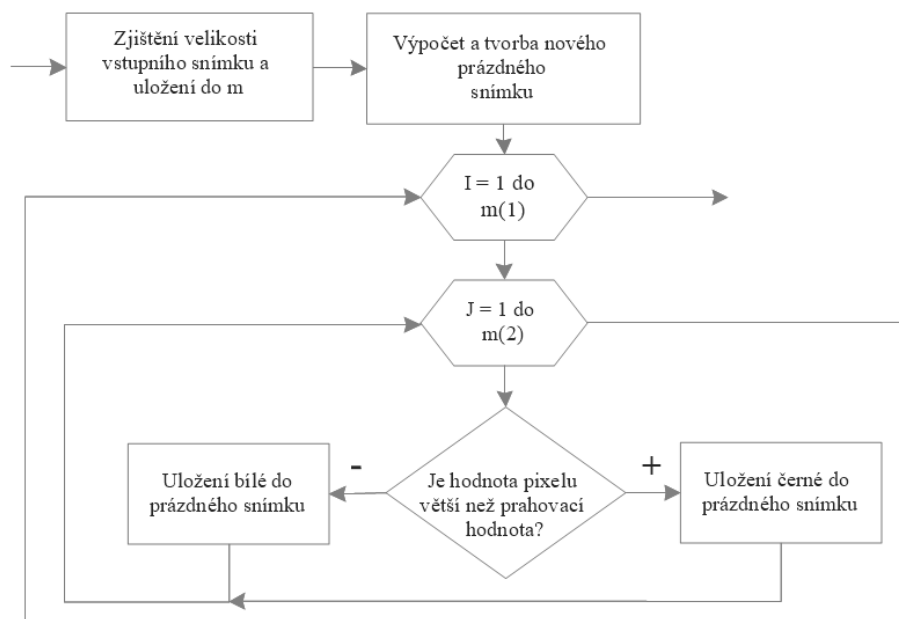
#### 4.1.6 Prahování

Je jednou ze základních úprav snímku. Slouží k odfiltrování nežádoucích pixelů pro zjednodušení dalších operací. Funguje tak, že je potřeba vhodně zvolit prahovací hodnotu. Ta určí, zda daný pixel bude mít bílou nebo černou barvu. Pokud se prahovací hodnota zvolí příliš nízká, může nastat, že zůstanou i pixely které mohou zkomplikovat další operace. Pokud je zase prahová hodnota zvolena příliš vysoká, je možnost, že pro další operace nebude dostatek dat.



Obr. 46 Na prvním snímku je jasový obraz se zvýrazněnými hranami a na druhém je obraz převedený prahováním na černobílý snímek

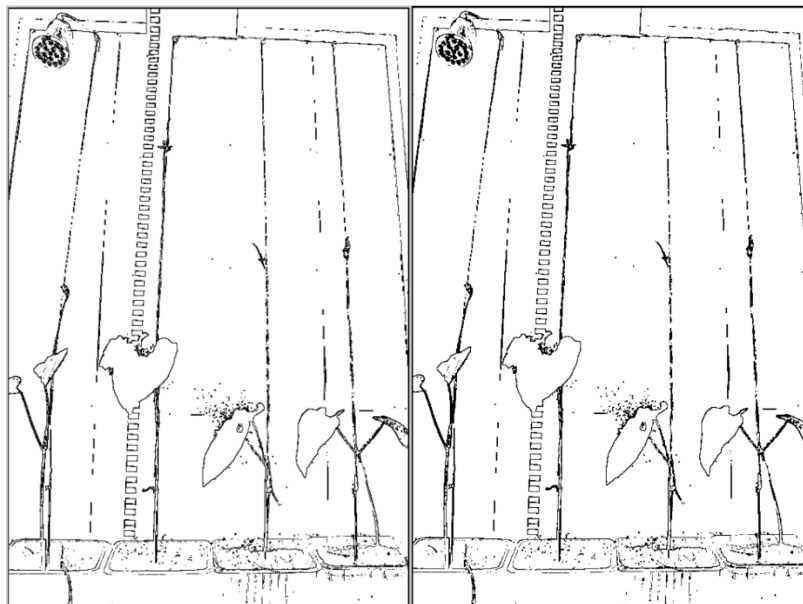
Jak je viditelné na obrázku, na druhém snímku, bylo pomocí prahování odstraněno několik nepotřebných detailů. Jako například pruhy na květináčích nebo vzory listů. Odstraněn byl také rušivý vliv stínů.



Obr. 47 Vývojový diagram prahování

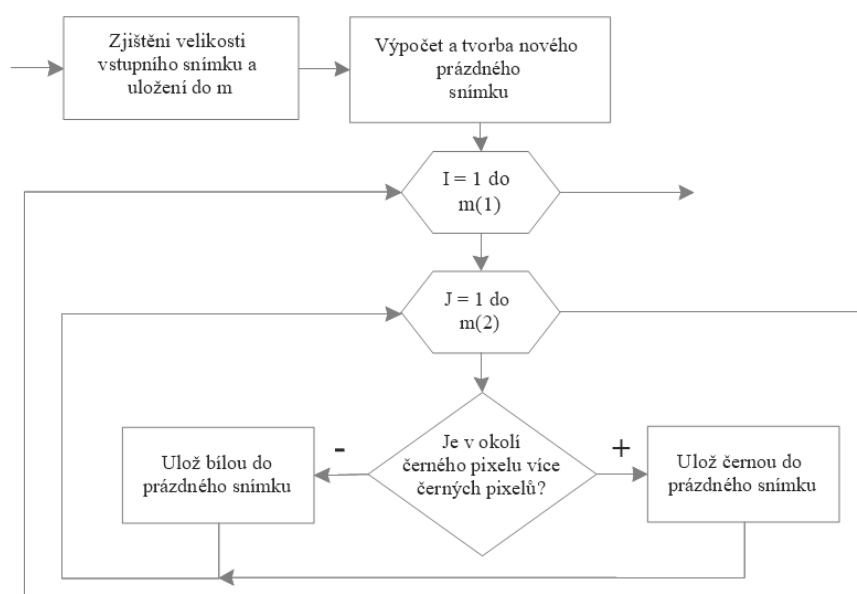
#### 4.1.7 Morfologické operace – Eroze

Eroze souží k odstranění drobných objektů nebo spojnic mezi většími objekty. Funguje na principu, že zjišťuje, zda je pixel na kraji hrany. Pokud ano, tak si ověří kolik černých pixelů je v jeho okolí. Pokud nesplňuje určený počet, je pixel odstraněn, jinak zůstává. Eroze se dá dále skombinovat s dalšími morfologickými operacemi pro dosažení různých efektů. Například při kombinování s dilatací můžeme vytvořit funkci uzavření. Ta se dá využít pro zacelení drobných zálivů nebo kanálů v celistvosti objektu. Aby bylo možno najít tento objekt při použití indexování.



Obr. 48 První snímek je před použitím funkce a druhý po morfologické operaci - erozi

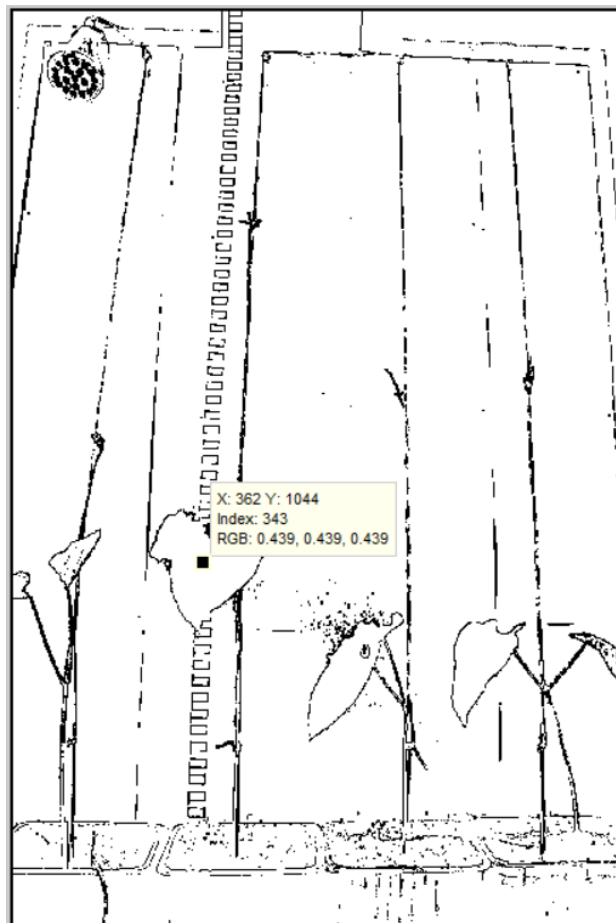
Snímky na Obr. 48 se mohou zdát totožné, ale není to pravda. Při rozlišení 1152 x 1728 je snímek složen z 1 990 656 pixelů. A při odstranění tisíc pixelů není změna tak patrná a objekty, které vypadají jako malé tečky, mohou mít velikost několik stovek pixelů. Proto nebyly odstraněny.



Obr. 49 Vývojový diagram funkce Eroze

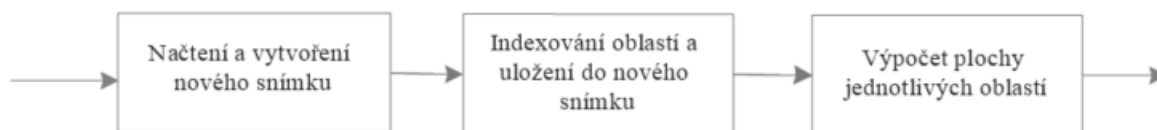
#### 4.1.8 Indexování - Blob

Je nejdůležitější část úpravy obrazu. Umožňuje obraz rozdělit po uzavřených částech a přiřadit jim číslo. Díky tomu je jednodušší získat ze snímku hledané objekty. Rozdělení probíhá tak, že se ověřuje, zda v okolí pixelu už není přiřazené číslo. Pokud ano, přiřadí se mu stejné číslo. Když se nepovede najít žádné číslo, je mu přiřazeno nové, které není použité a je o jedno větší než poslední použité. Takto se získají oblasti, které jsou oddělené a uzavřené od okolí. Indexování nám také umožňuje získat informace o počtu uzavřených oblastí i o jejich ploše v pixelech.



Obr. 50 Ukázka indexování

Na obrázku můžete vidět snímek, kde proběhlo indexování. Každá oblast je označena jedinečným číslem. Například všechny pixely ve zvoleném listu uprostřed mají přidělené číslo 343. Oblast má plochu 28 266 pixelů.



Obr. 51 Jednoduché blokové schéma indexování

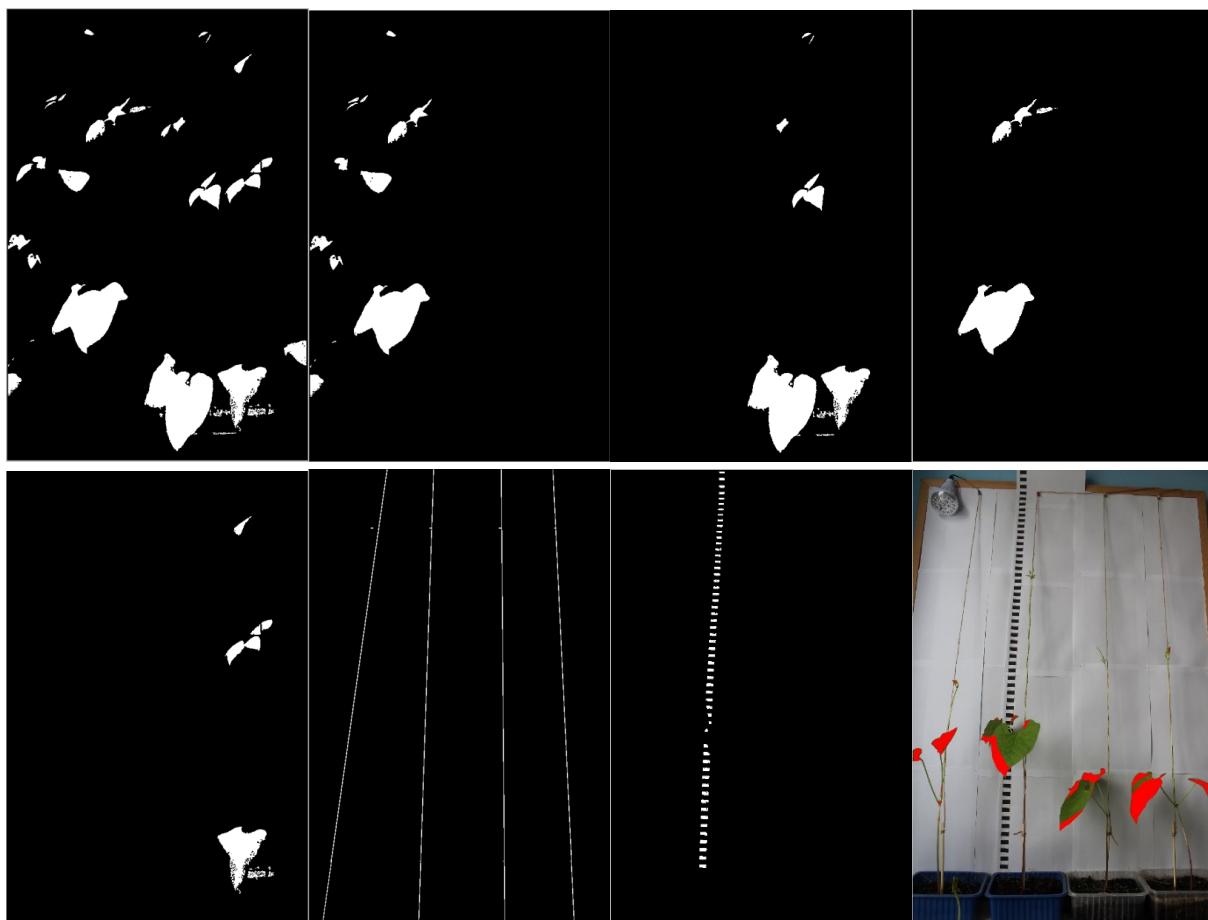
## 4.2 Detekce růstu zeleně

V této části probíhá detekce a filtrace nepotřebných dat. Skládá se jen ze čtyř bloků, ale je to nejdůležitější část programu. Tyto bloky se nedají využít bez předchozích úprav snímků. Funkce nejdou využít samostatně. Vždy musí na sebe navazovat v daném pořadí. Nelze určit velikost rostliny bez toho, abychom jí před tím našli.



Obr. 52 Diagram částí pro analýzu růstu zeleně

Jako první blok je nalezení rostlin, kde probíhá filtrace nepotřebných objektů od rostlin. Dále je zde rozdělení po rostlinách, protože na snímku jsou čtyři rostliny, je třeba je rozdělit. Aby šla v dalším bloku určit jejich velikost. Nakonec se vypočte procentuální přírůst pro každou rostlinu zvlášť.



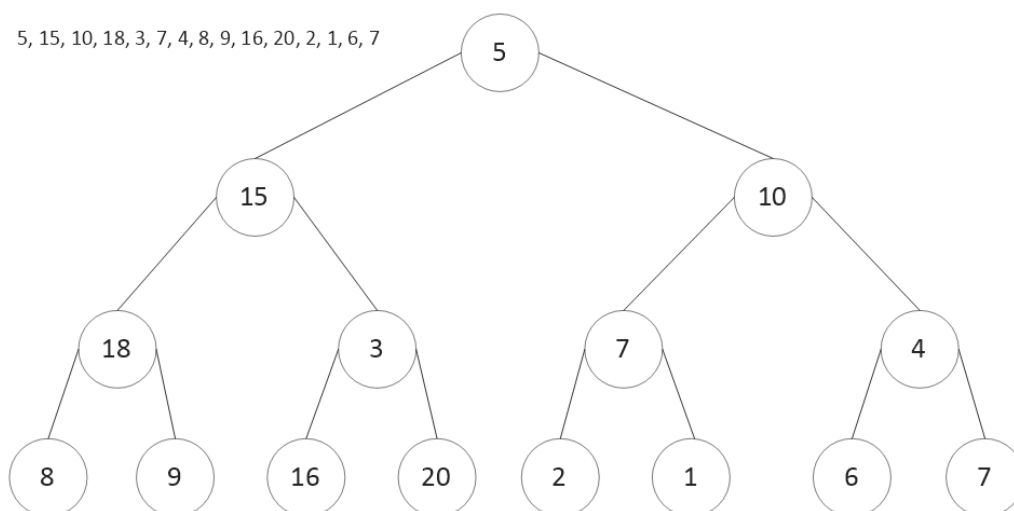
Obr. 53 Snímky použité v detekčním systému

Snímek jedna z předchozího obrázku je rozdělen po rostlinách, snímky dva až čtyři, pomocí snímku pět. Velikost jednotlivých rostlin je určena pomocí měřítka na snímku šest. Na posledním snímku je ukázka výstupu ze systému.



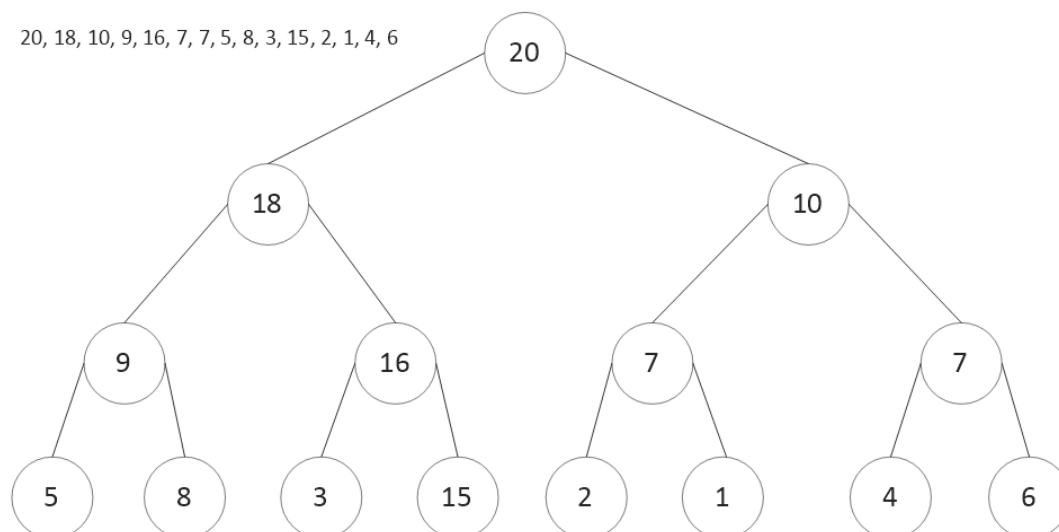
#### 4.2.1 Nalezení listů rostlin

Tato funkce najde všechny listy rostlin ve snímku. Aby to bylo možné, je potřeba na vstup funkce dodat snímek rozdělený na oblasti, počet oblastí a jejich plochy a dále vstupní barevný snímek. Když toto všechno dodáme, proběhne filtrace oblastí a jsou ponechány jen oblasti, které mají více než 33% pixelů zelených v barevném snímku.



Obr. 54 Netřízená halda z náhodných čísel

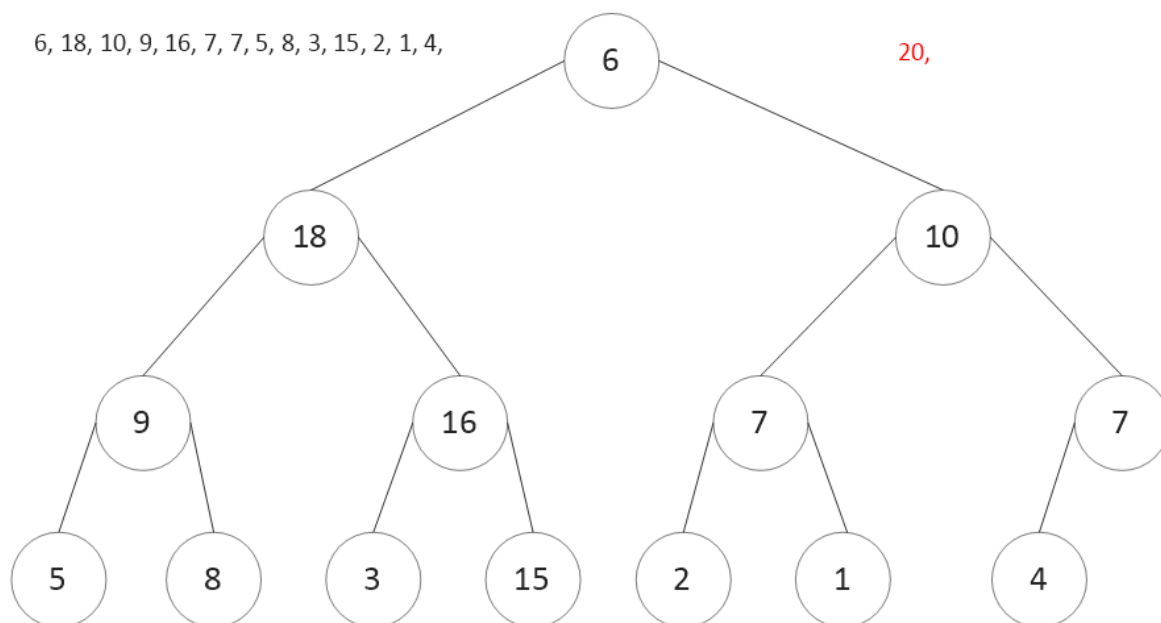
Data z indexování se musí filtrovat, protože získáme až 800 oblastí. Ale některé oblasti mají velikost, jen deset a méně pixelů. Proto je pro zrychlení hledání oblastí se zelenou barvou odstraníme. Před samotným odstraněním seřadíme oblasti podle plochy od největší po nejmenší, pomocí třídícího algoritmu haldy. Nesetříděná halda je znázorněná na předchozím obrázku. Tvoří se tak, že z řady čísel postupně bereme prvky a doplňujeme do haldy. Každý prvek z haldy je složen z otce a dvou synů.



Obr. 55 Vytrízená halda

Třídění haldy probíhá podle následujících pravidel. Postupuje se od vrchu dolů a otec musí být větší než jeho dva synové. Pokud nastane výměna otce za syna, ověří se, zda není nový otec, syn otce o vrstvu výš, není větší než otec. Pokud ano, prohodí se. A protože nastala výměna, probíhá zase ověření nahoru. Jinak se pokračuje dále v třídění haldy.





Obr. 56 Princip získání seřazené řady z haldy

Když je halda vytřízená podle pravidla, kde je všude otec větší než synové. Vezmeme číslo, co je nejvýše v hladě a umístíme ho do nové řady. Poté na jeho místo umístíme prvek, který je na konci haldy. Následuje nové třídění haldy. Toto opakujeme, tak dlouho dokud jsou v hladě nějaká čísla.

pole										
2x783 double										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1707816	32909	32238	28266	14703	12770	3529	1973	1635	1037
2	2	599	147	343	223	232	429	263	280	414
3										

Obr. 57 Ukázka seřazení plochy oblastí – řádek jedna

Na obrázku jsou v prvním řádku seřazeny plochy objektů a ve druhém jejich číslo v indexování. Na takto uspořádaných datech provedeme filtraci, která odstraní více než polovinu z celkových dat. Zbylá data jsou použita pro ověření, zda se na pozicích daných objektů nachází v barevném snímku zelená barva. Provede se sečtení těchto pixelů, a pokud není víc než 33 % pixelů zelených, nejsou dále používány.

pole data										
3x225 double										
	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
1	622	615	593	546	504	496	483	483	482	422
2	1	1	1	627	1	1	1	1	1	1
3	0	32	0	274	0	0	29	0	0	0

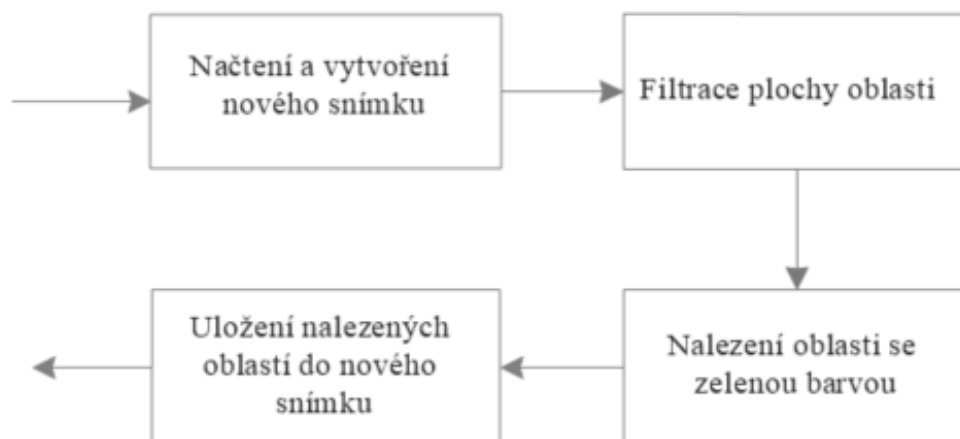
Obr. 58 Ukázka filtrace zelených objektů

Z obrázku je patrné, že data, která nevyhověla, mají v řádku dva označení jedna. Poté jsou ponechány pouze vyhovující oblasti. Tyto oblasti je nutné rozdělit na jednotlivé rostliny a určit u každé velikost.



Obr. 59 Výstupní snímek po filtraci rostlin

Jak si můžete všimnout nahoře na obrázku, lze získat i malé listy. Nevýhodou je, že pokud se list nachází nad stupnicí pro určení velikosti, dochází k splynutí stupnice s listem. Tuto chybu se nepovedlo vyfiltrovat.



Obr. 60 Blokové schéma hledání rostlin

Pravidlo pro filtraci zda daný pixel splňuje podmínky pro zelenou barvu je, že červená složka zvětšena o deset musí být menší než zelená složka a zároveň musí být zelená složka větší než modrá složka zvětšená o deset. Takto nastavené parametry pomohou odfiltrovat nežádoucí objekty.

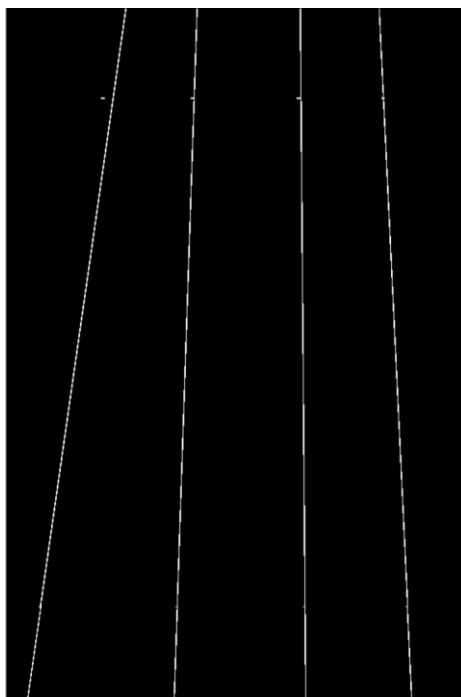
#### 4.2.2 Rozdělení po rostlinách

Je funkce vytvořená pro libovolný počet rostlin. Jak už je z názvu patrné slouží k rozdělení rostlin ze snímku. Je vytvořena, tak aby byly nalezeny všechny listy rostliny i když na snímku rostlina roste zešíkma. Funkce se skládá z několika kroků. První krok je nalezení dvou bodů pro každou rostlinu. Dále se vytvoří spojnice mezi body a poté se vedle této spojce vyhledají rostliny, které se uloží do 3D matice kde každá rostlina má svojí vrstvu.



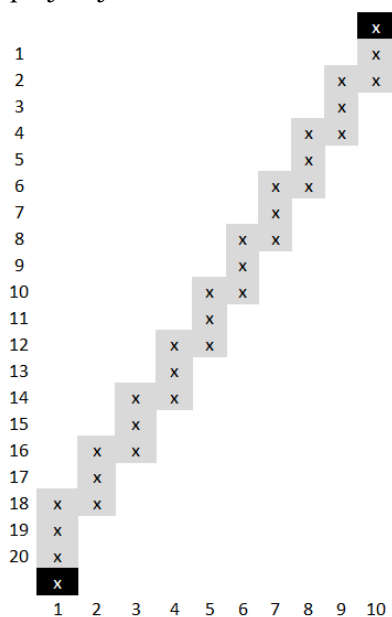
Obr. 61 Nalezené body pro spojnice

Body jsou hledány už v předem zadané výšce. Ta je dole v úrovni stonků těsně nad květináči a nahoře asi v 1/6 od horního okraje snímku. Pro nalezení dolních bodů je použit snímek ve stupních šedi, kde jsou hledány stonky. Pro horní body je použit černobílý snímek, kde jsou hledány provázky. Horní body jsou hledány pomocí přechodů jasu. Pokud je velký rozdíl mezi přechodem jasu, označí se do nového snímku jako body. Pro dolní body jsou hledány černé stonky. Po nalezení probíhá filtrace, aby zůstaly pouze dva body pro jednu rostlinu. Podle nalezených bodů je určeno počet rostlin v obraze. Pomocí bodů je vykreslená čára, vedle které jsou hledány listy jednotlivých rostlin.



Obr. 62 Čáry pro hledání rostlin

Jak můžete vidět na obrázku, čáry jsou tvořeny od dolního okraje až k hornímu okraji snímku. Protože snímek je velká matice, je potřeba výpočet. Kolik pixelů nahoru a do boku dle naklonění je potřeba pro vykreslení čáry. Výpočet probíhá následujícím způsobem. Zjistíme kolik pixelů je kolmo nahoru mezi bodem dole a nahoře. Poté vypočteme o kolik pixelů je posunutý horní bod od dolního do strany. A potom podělíme počet nahoru počtem do strany. Čáru vykreslíme, tak že budeme opakovaně vykreslovat například pět pixelů nahoru a jeden doleva. Protože se používá celočíselné dělení, dochází k lehké odchylce od horního bodu, kterou můžete vidět na předchozím obrázku na první čáře. Tato chyba však nemá vliv na hledání rostlin a projevuje se až v horní části snímku.



Obr. 63 Princip vykreslení šikmé čáry

Po vykreslení čar se provádí očíslování. To slouží k jednoduššímu rozdělování listů. Podle čísla proběhne rozdělení po rostlinách. Je prohledáváno okolí každé čáry a nalezené zelené objekty jsou rozděleny po rostlinách. Mají-li rostliny listy blízko sebe, může se stát, že bude jeden list přiřazen ke dvěma rostlinám.



Obr. 64 Snímky listů před a po rozdělení na rostliny

Na obrázku je patrná chyba rozdělní. Tato chyba vznikla malou mezerou mezi listy. Proto dochází k přiřazení jednoho listu k více rostlinám. Této chybě by šlo zamezit tak, že by byly rostliny vysazeny dále od sebe. S listy, které se nachází mimo bílou plochu, není počítáno v dalších krocích. Kde se provádí určení velikosti jednotlivých rostlin a výpočtu procentuálního nárůstu plochy listů.

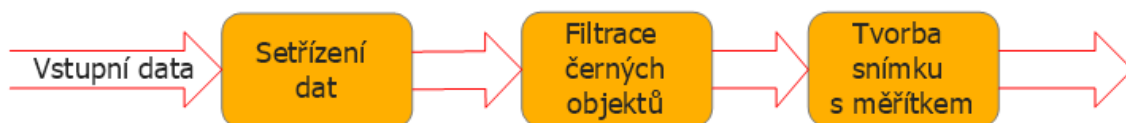
### 4.2.3 Zjištění velikosti rostlin

V této kapitole je popsán princip určení velikosti jednotlivých rostlin. Pomocí této funkce je možno určit velikost jakéhokoliv předmětu, ale je potřeba, aby bylo umístěno v pozadí měřítko, pomocí kterého se určí velikost. Výstupní hodnoty jsou uvedeny v centimetrech podle měřítka v centimetrech. Měřítka jsou získána z obrazu podobným způsobem jako listy. Informace o ploše objektu jsou také filtrovány pomocí třídící funkce halda. Ale místo toho, aby byly hledány zelené objekty, jsou hledány černé objekty o specifické velikosti. U všech nalezených černých objektů je testováno, zda pod a nad ním se nachází také černý objekt. Tento princip zamezuje označení stínů jako měřítko.

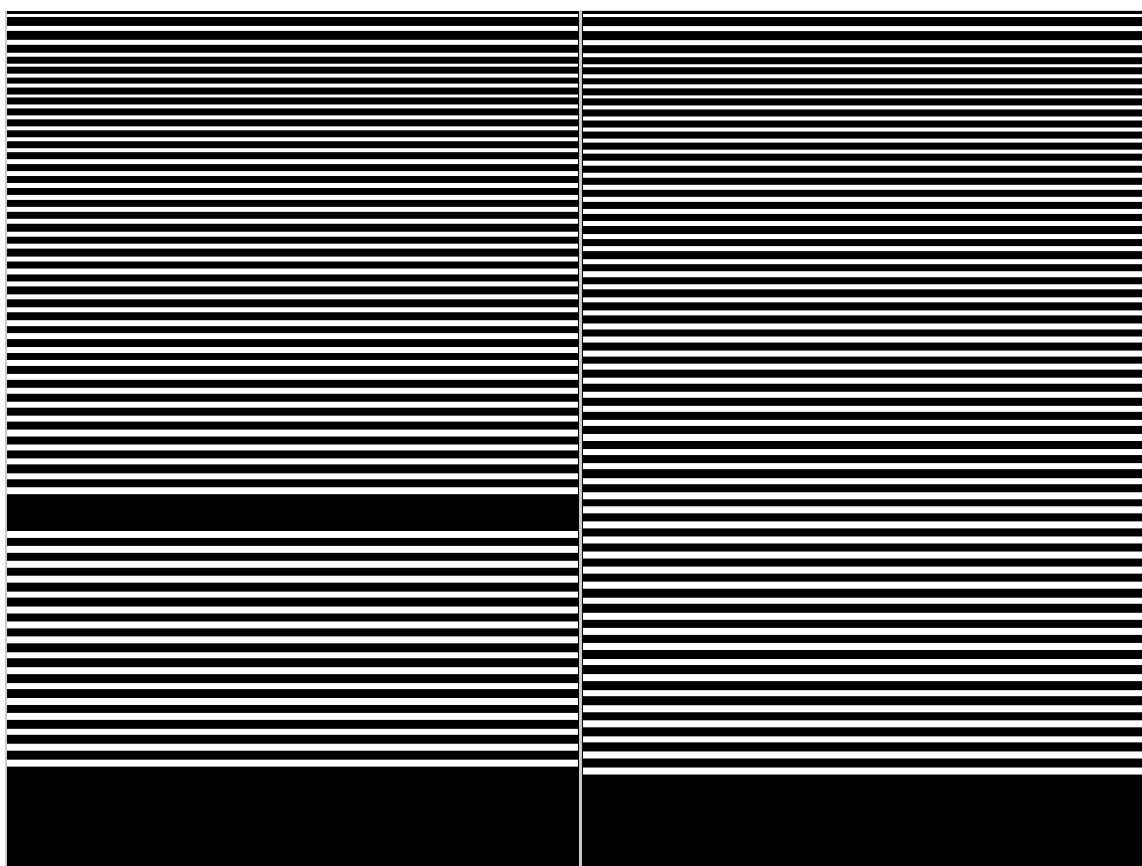


Obr. 65 Na snímku dva získané měřítka ze snímku jedna

Jak si můžete všimnout na předchozím obrázku stupnice je překrytá listy rostliny a nejde kolmo vzhůru. To způsobuje její nekompletní nalezení. Dalším krokem je vytvoření pruhů přes celý obraz. A pokud je měřítko neúplné, bude doplněno.

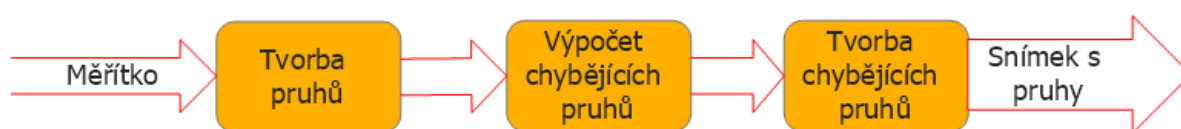


Obr. 66 Jednoduché blokové schéma získání měřítka

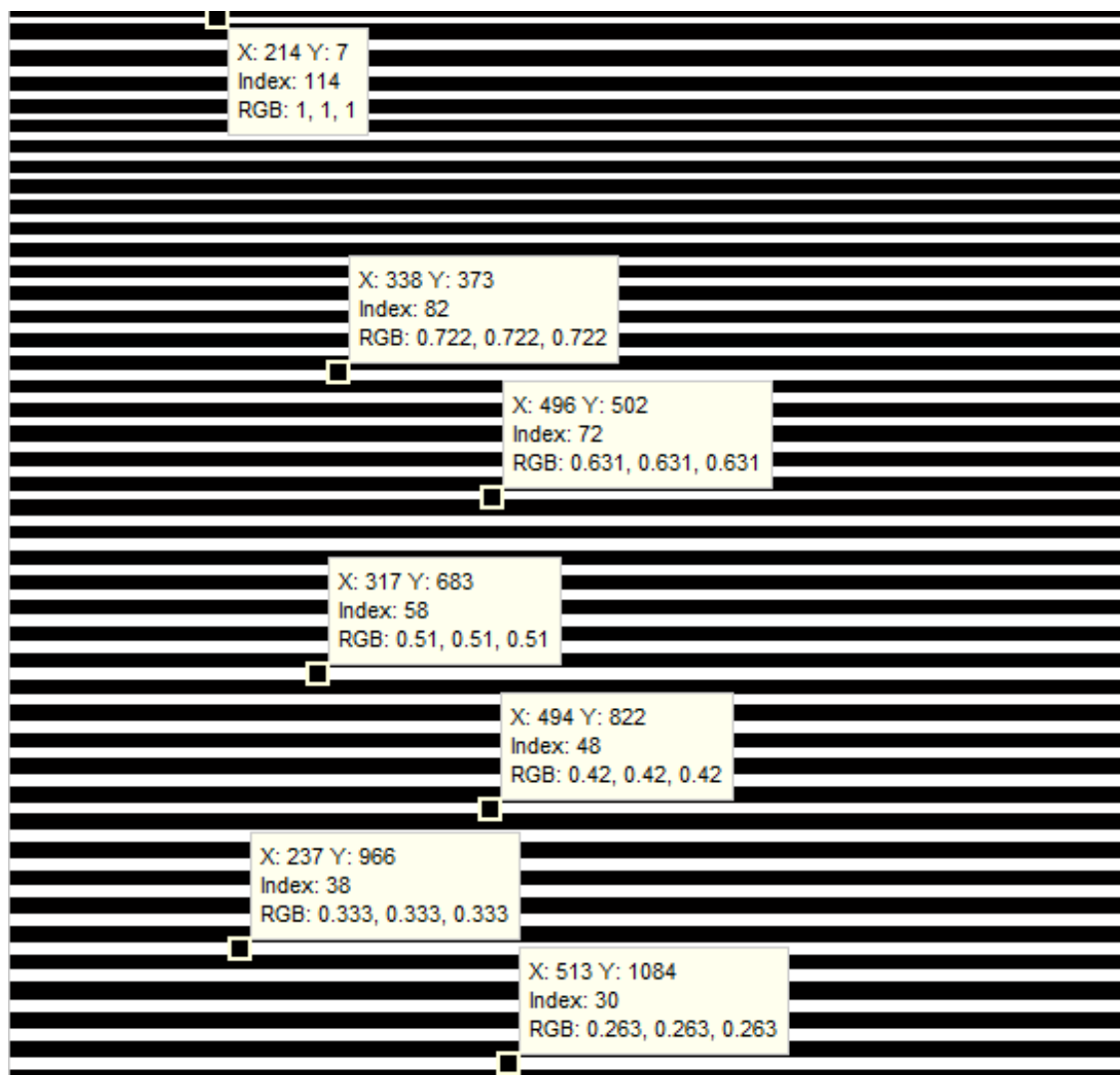


Obr. 67 Snímek s pruhy pro určení velikosti před a po opravení chybějícího měřítka

Pruhy jsou vytvořeny na principu rotace. Vezmeme měřítko a posuneme ho o jeden pixel vpravo. Takto vytvoříme nové měřítko posunuté, ale navazující na to staré. Vše opakujeme tak dlouho, dokud nedojdeme z levé stany snímku na původní místo měřítka. Jak si můžete všimnout na předchozím obrázku, jsou pruhy různě široké. To je způsobeno prostorovým zakřivením fotografie, které vzniká umístěním fotoaparátu v úrovni spodní části měřítka. Proto je třeba chybějící pruhy doplnit tak, aby se nelišily od okolních pruhů. Oprava se provádí tak, že podle šířky předchozího pruhu se vytvoří jen jedna řada pixelů. Protože pruhy nejsou stejně široké, je potřeba ověřit zda pruh není širší než předchozí, aby nedošlo k narušení již existujících pruhů. Následně se provede znova rotace, pro vytvoření nových pruhů. Poté se provádí očíslování bílých pruhů tak, že se jim přidají indexy podle výšky. Pro přiřazení indexů je použito zjednodušeného indexování, které přiřadí každému pixelu v pruhu stejné číslo indexu. Následně se provádí určení velikosti jednotlivých rostlin.



Obr. 68 Jednoduché blokové schéma tvorby pruhů



Obr. 69 Ukázka indexování měřítka

Maximální měřitelná velikost měřítka je 114 cm, šířka bílého i čelného pruhu je ve skutečnosti 1 cm. Proto mají bílé pruhy přiděleny sudé čísla. Po indexování se provádí určení velikosti jednotlivých rostlin. Najde se nejvyšší bod rostliny a ověří se, zda není v bílé barvě měřítka. Pokud ano, je mu přidělena hodnota, která je v indexu pruhu. Jinak se hledá pruh bílé barvy nad tímto bodem a přiřadí se rostlině index o jedna menší. Přiřazené indexy se rovnají velikosti rostliny. Pro každou rostlinu je nalezena výška. Data jsou uloženy do tabulky, jak můžete vidět na následujícím obrázku.

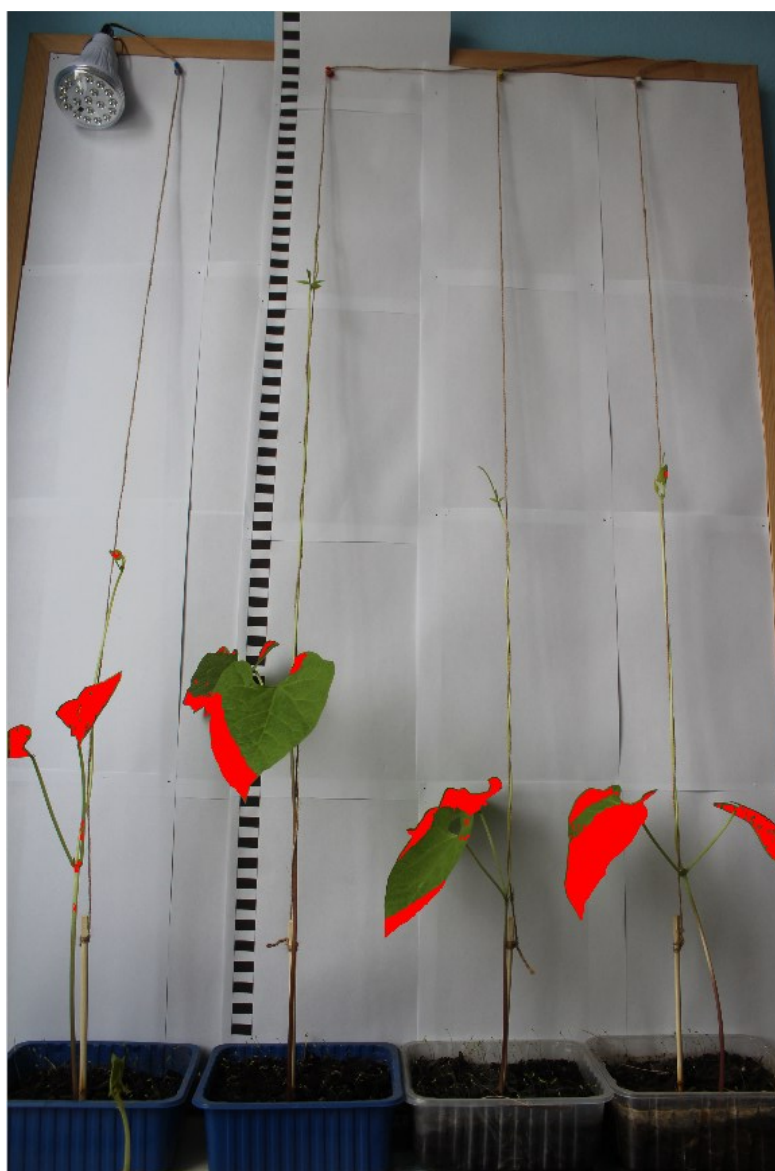
	1	2	3	4
1	13	38	21	26
2				

Obr. 70 Tabulka s velikostmi rostlin



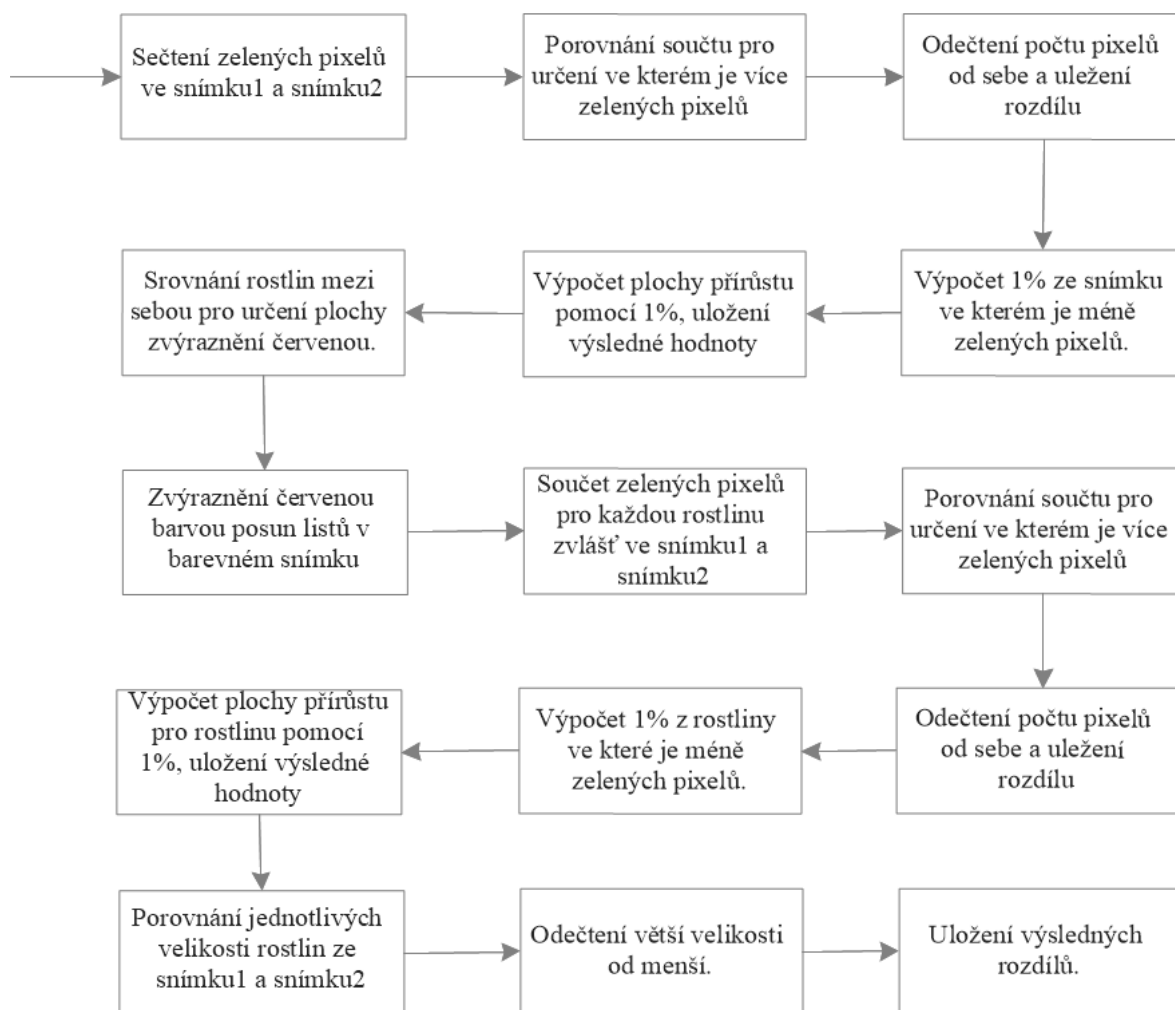
#### 4.2.4 Výpočet procentuálního přírůstu plochy listů

Funkce neslouží jen k výpočtu procentuálního přírůstu plochy listu pro celý snímek, ale i pro jednotlivé rostliny. Také je zde prováděn výpočet, o kolik centimetrů vyrostla každá rostlina. Funkce je navrhnutá tak, aby poznala na kterém snímku je více zelené a ten použila pro výpočet procentuálního přírůstu. Dále se zde zvýrazňují červenou barvou místa, kde se listy z prvního snímku nepřekrývají na druhém. To slouží k lepší identifikaci menšího nárůstu plochy listů. Ale při větším nárůstu nebo pohybu listu dochází k označení celých listů. Výpočet procentuálního přírůstu plochy listů probíhá následujícím způsobem. Spočítají se počty zelených pixelů v obou snímcích. Poté se odečte menší počet pixelů od většího a výsledný rozdíl se podělí jedním procentem vypočteným z menšího počtu pixelů. Stejný výpočet je použit jak pro celý snímek, tak pro jednotlivé rostliny. Výsledné hodnoty jsou uloženy do tabulky. U jednotlivých rostlin může dojít k velkým nárůstům procent, to může být způsobeno chybou při rozdělování rostlin. Jeden list bude přiřazen pro dvě rostliny.



Obr. 71 Snímek znázorňující přírůst

Na předchozím obrázku je zvýrazněn rozdíl listů, mezi snímky, červenou barvou. Proto může dojít k označení celých listů při pootočení nebo nárůstu nových listů. Pokud nejsou označeny nové listy, může to být způsobeno tím, že nebyly listy nalezeny, protože jsou moc malé. Aby bylo dosaženo červené barvy, jsou pixely v barevném snímku nastaveny na 255-0-0 v RGB.



Obr. 72 Blokové schéma funkce srovnání

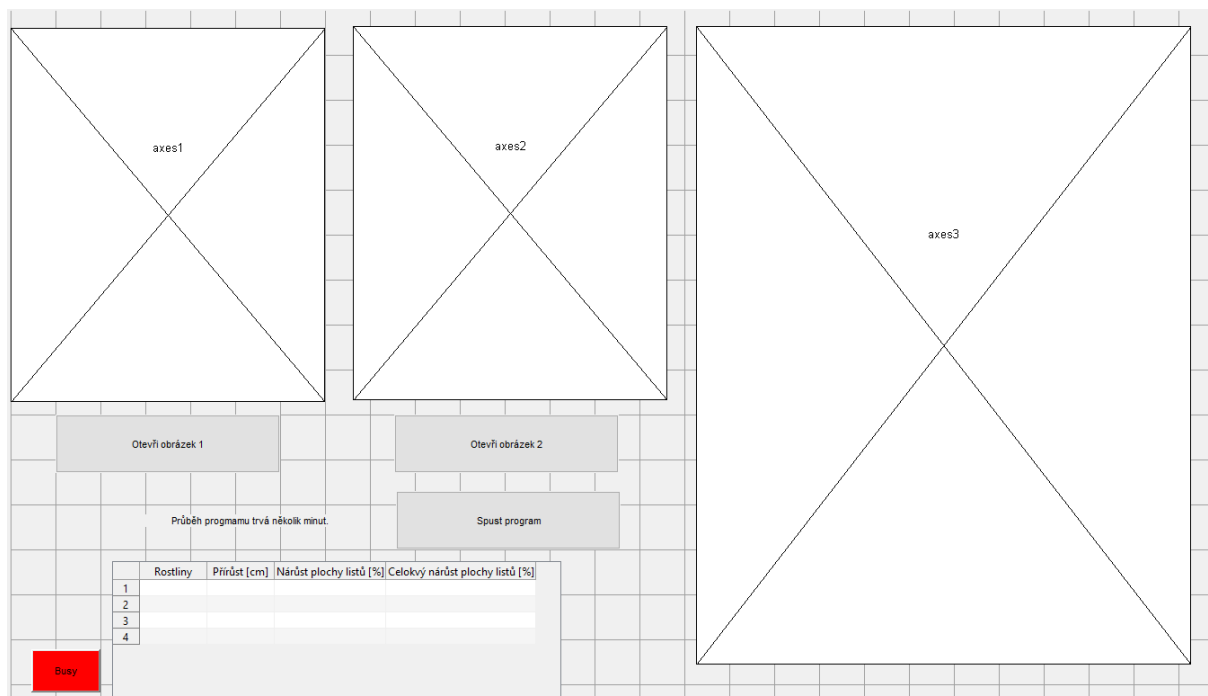
V druhé části funkce probíhá výpočet velikosti přírůstu jednotlivých rostlin. Výpočet probíhá tak, aby výsledné hodnoty nevyšly záporně. Je srovnáváno, zda nebyl prohozen snímek1 za snímek2. Pokud by nastala záměna, program prohodí hodnoty. A to z toho důvodu, že rostliny rostou vždy nahoru.

prirust_cm					
1x4 double					
	1	2	3	4	
1	20	1	0	12	
2					

Obr. 73 Výstupní data z určování přírůstu v centimetrech

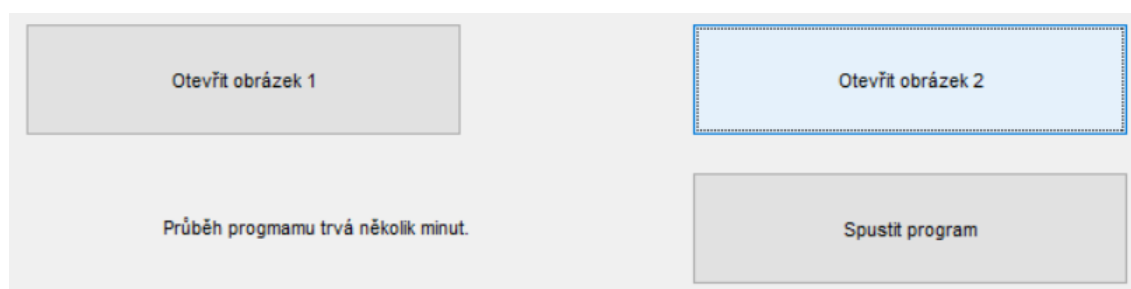
### 4.3 Grafické rozhraní

Pro lepší a zajímavější ovládání je zde vytvořené grafické rozhraní. Protože program napsaný v Matlabu je strohý a textový. Program je funkční i bez grafického rozhraní. Grafické rozhraní, umožňuje lépe a přehledně zobrazovat výsledná data. Také umožňuje jednodušší práci s programem, protože obsahuje jen tři funkční tlačítka.



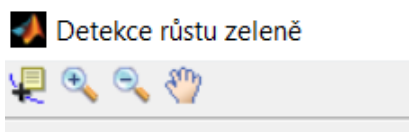
Obr. 74 Grafické rozhraní

Grafické rozhraní je složeno ze čtyř tlačítek, tři grafů pro zobrazení snímků a jedné tabulky pro zobrazení výsledných hodnot jako je přírůst. Tlačítka fungují následujícím způsobem. Při stisku tlačítka Otevřít obrázek 1 se otevře okno s průzkumníkem souborů a zobrazí červené tlačítko Busy. V okně průzkumníka souborů je možné vybrat jen soubory s příponou jpg a bmp. Po zvolení snímku a zobrazení v axes1 je skryto červené tlačítko Busy a je umožněno stisknout tlačítko Otevřít obrázek 2. Toto tlačítko funguje na stejném principu jako tlačítko Otevřít obrázek 1. Ale s tím rozdílem, že po zvolení snímku je umožněno stisknout tlačítko Spustit program. Při stisku tlačítka Spustit program se spustí program, ale nezobrazí se červené tlačítko Busy. Matlab vykonává operace s tlačítky až po vykonání programu. Proto je přidáno upozornění vedle tlačítka Spustit program. Po vykonání programu jsou zablokována tlačítka Otevřít obrázek 2 a Spustit program, aby uživatel zvolil nové snímky.



Obr. 75 Tlačítka v grafickém rozhraní

Dalším prvkem grafického rozhraní jsou volitelná tlačítka pro ovládání prvků z Matlabu. Je možné zvolit z celé řady tlačítek. Jsou umístěna vlevo nahoře a umožňují zobrazit kurzor, přiblížit nebo oddálit snímky a posun.



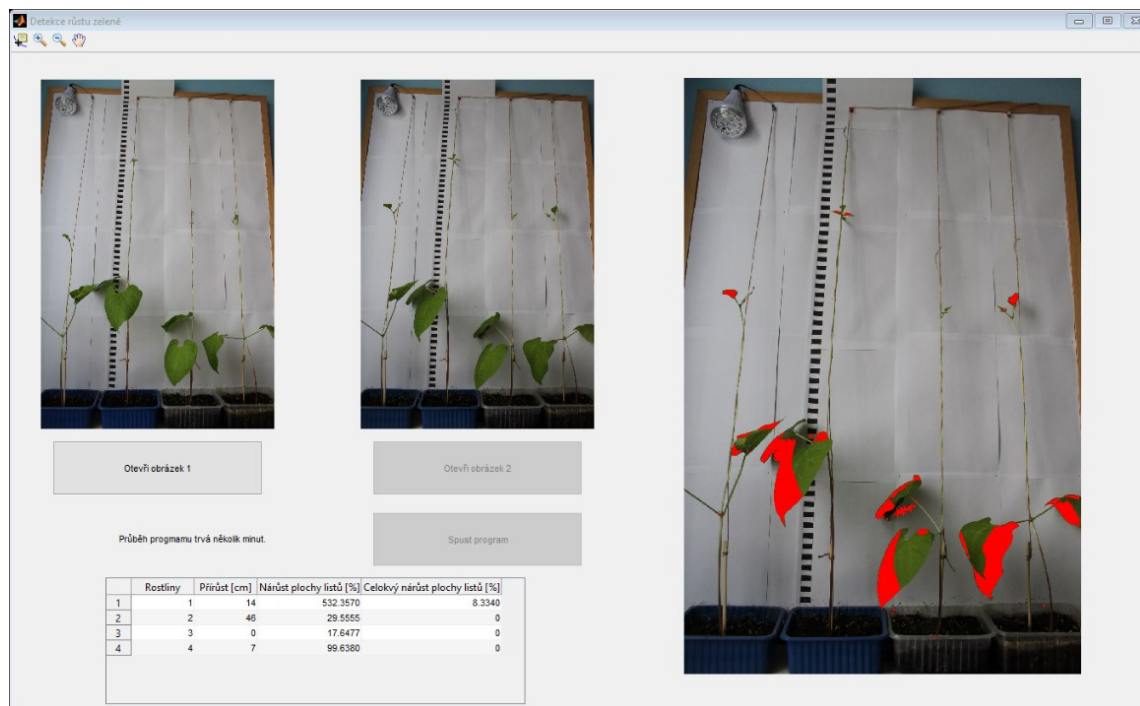
Obr. 76 Ovládací prvky Matlabu

Dále se v grafickém rozhraní nachází tabulka pro zobrazení počtu rostlin, přírůstu, nárůstu plochy listů rostlin a celkového nárůstu plochy listů. Tabulka je navržena tak, aby umožňovala zobrazovat libovolný počet rostlin.

	Rostliny	Přírůst [cm]	Nárůst plochy listů [%]	Celkový nárůst plochy listů [%]
1	1	5	117.3333	16.0546
2	2	4	3.9613	0
3	3	4	87.7953	0
4	4	5	8.0331	0

Obr. 77 Tabulka pro zobrazení výstupních dat.

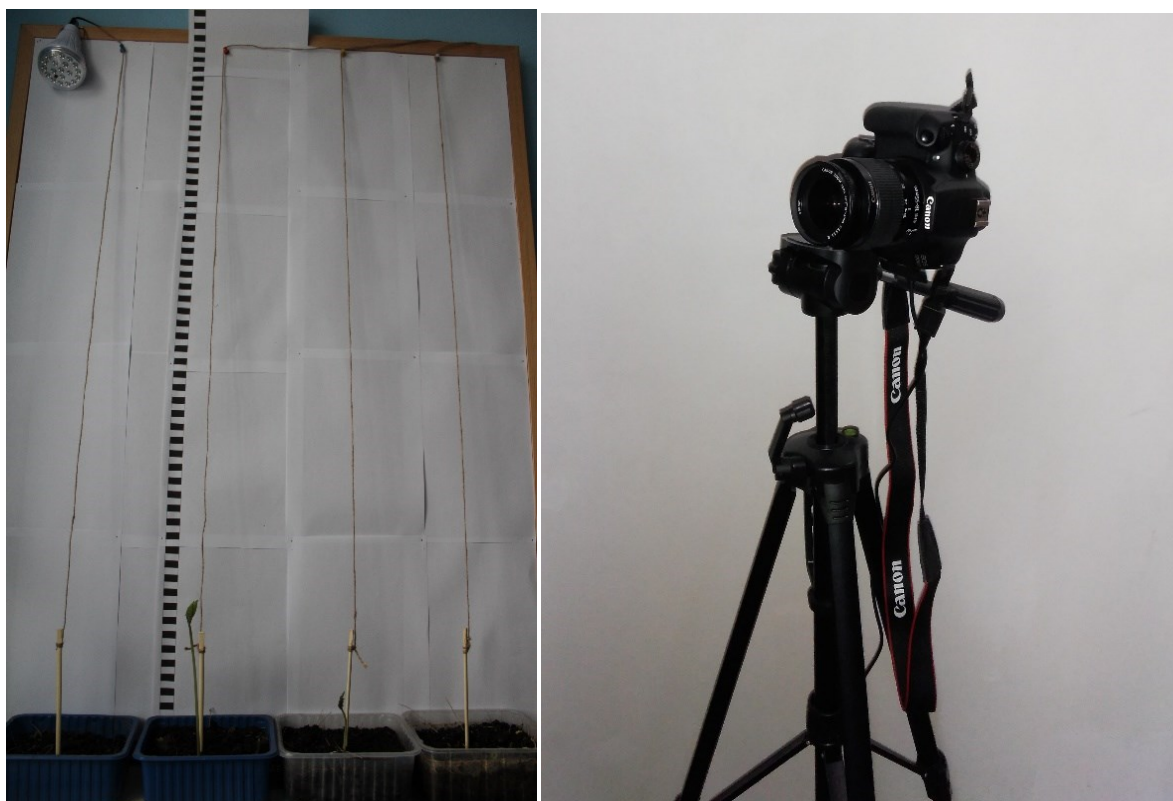
Na následujícím obrázku je grafické uživatelské rozhraní po průběhu programu. Jak je patrné, tak tlačítka Otevřít obrázek 2 a Spustit program jsou zablokovány. V grafech jsou zobrazeny srovnávané snímky a výsledný snímek. Také jsou zobrazeny výstupní data v tabulce. Vše je uchovááno do zvolení nových snímků a skončení průběhu programu.



Obr. 78 Grafické rozhraní po průběhu programu

## 5 Měření a analýza

Pro testování detekčního systému byly zasazeny čtyři rostliny fazolí. Byly naklíčeny tak, aby rostliny měly různou velikost a počet listů. Rostliny byly foceny fotoaparátem Canon EOS 1200D s objektivem EFS 18 - 55 mm s pevně nastaveným fokusem s rozlišením 2592 x 1728 to je 4,5 megapixelů. Fotoaparát umožňuje snímky v kvalitě až 18 megapixelů. Má devět ostřících bodů pro správné doostření. Po celou dobu snímání byl fotoaparát umístěn na stativu ve stejné pozici. Snímky byly pořizovány každý den ráno. Byla-li zaznamenána změna, byl pořízen snímek i večer. Bylo nafoceno 24 snímků. Takto získané snímky byly vloženy do detekčního systému a výstupní data uložena do tabulky pro analýzu.



Obr. 79 Rostliny a fotoaparát použitý pro testování.

Testování snímků probíhalo následně. Byly postupně po dvojicích vkládány do systému a získané hodnoty byly uloženy do tabulek pro další analýzu. Systém umožňuje vkládání různých snímků, ale pro testování byly vloženy vždy jen navazující snímky. Jako poslední testovanou dvojicí se srovnával první a poslední snímek. Pro zjištění celkového nárůstu plochy listů a délky rostlin. Protože průběh programů trvá několik minut, bylo testování časově náročné. Pro snímky 18 a 19 byla provedena časová analýza programu pomocí funkce Run and Time. Výsledná hodnota je 1476.383 s, ale ta se při opakovaném spuštění programu mění.

Tab. 1 Výsledné hodnoty přírůstů z testovacích snímků

Testované snímky	Přírůst [cm]			
	0	1	2	3
Snímek 1,2	0	0	0	0
Snímek 2,3	0	1	0	0
Snímek 3,4	1	0	0	1
Snímek 4,5	5	4	4	5
Snímek 5,6	3	1	0	3
Snímek 6,7	0	0	0	1
Snímek 7,8	1	1	0	0
Snímek 8,9	10	2	3	0
Snímek 9,10	2	3	1	1
Snímek 10,11	4	2	3	20
Snímek 11,12	6	2	1	2
Snímek 12,13	2	2	0	1
Snímek 13,14	12	1	1	9
Snímek 14,15	0	37	1	2
Snímek 15,16	0	42	0	1
Snímek 16,17	11	3	1	4
Snímek 17,18	3	43	1	3
Snímek 18,19	0	4	32	3
Snímek 19,20	2	3	1	3
Snímek 20,21	0	1	16	4
Snímek 21,22	0	3	5	4
Snímek 22,23	35	1	22	32
Snímek 23,24	1	2	0	2
Snímek 1,24	98	44	84	75
Rostlina	1	2	3	4

Z testování bylo získáno dvacet čtyři hodnot pro každou rostlinu. Ze získaných dat vyplývá, že růst rostlin fazolí je pozvolný a mezi listy je mezera vždy dvacet až čtyřicet centimetrů. I když systém zvládá nalezení malých listů, stává se, že nejsou nalezeny. Toho jsou důkazem data pro rostlinu tři, kdy se objeví několikrát za sebou uvedený přírůst okolo čtyřiceti centimetrů. Takový přírůst, ale není patrný na snímcích. Když se zaměříme na hodnoty pro rostlinu jedna, je patrné, že součet všech přírůstů odpovídá přírůstu, který systém získal srovnáním snímku jedna a dvacet čtyři. U rostliny dva se vyskytla chyba způsobena tím, že rostlina přerostla k rostlině jedna. Výsledné hodnoty rostliny tři jsou podobné jako u rostliny jedna ale součet hodnot se nepatrně liší od srovnání prvního a posledního snímku. U poslední rostliny je hodnota součtu přírůstů větší o dvacet centimetrů oproti poslední hodnotě. Pokud by bylo umožněno rostlinám růst dále nahoru, je pravděpodobné, že by nevzniklo skreslení údajů.

Tab. 2 Výsledné hodnoty přírůstů plochy listů z testovacích snímků

Testované snímky	Přírůst plochy listů [%]
Snímek 1,2	11,11365196
Snímek 2,3	0,452768059
Snímek 3,4	65,13009629
Snímek 4,5	16,05459057
Snímek 5,6	14,83857173
Snímek 6,7	17,60379818
Snímek 7,8	3,202352749
Snímek 8,9	156,3270975
Snímek 9,10	34,8503681
Snímek 10,11	23,34798639
Snímek 11,12	26,83029641
Snímek 12,13	0,202435266
Snímek 13,14	5,798095481
Snímek 14,15	29,10213261
Snímek 15,16	0,421846696
Snímek 16,17	5,651505
Snímek 17,18	2,538959285
Snímek 18,19	1,630876711
Snímek 19,20	2,077461953
Snímek 20,21	42,87554784
Snímek 21,22	6,202598908
Snímek 22,23	5,61898264
Snímek 23,24	18,32804582
Snímek 1,24	3669,883375

Z hodnot je patrný růst rostlin. Při srovnání snímků 3 a 4 vyšla hodnota nárůstu 65 %, na snímcích je nárůst prvních listů. Nárůst závisí také na osvětlení rostlin, to je patrné u snímků 6 a 7. Dalším faktorem ovlivňujícím hodnoty, je růst listů i mimo snímanou oblast. Největší nárůst je při srovnání snímků 8 a 9, na kterých vidíme zvětšení první řady listů. Hodnoty větší než dvacet procent jsou zaznamenány v šesti případech, kdy se objeví na snímcích nové listy. Jsou-li hodnoty kolem jednoho procenta, nárůst vznikl chybou při úpravě snímků. Ostatní hodnoty odpovídají menšímu natočení listu za sluncem. Je zajímavé, že rostliny dokážou svoji plochu listů, od prvního snímku po poslední, navýšit o 3670 %.

Tab. 3 Výsledné hodnoty přírůstků plochy listů rostlin z testovacích snímků

Testované snímky	Přírůst plochy listů [%]			
	1	2	3	4
Snímek 1,2	33,82353	10,09879	0,998573	27,02703
Snímek 2,3	25,82418	4,697286	1,081471	6,304177
Snímek 3,4	40,4908	137,1608	9,877433	35,58191
Snímek 4,5	117,3333	3,961268	87,79528	8,033077
Snímek 5,6	477,3333	41,90448	0,491573	144,0638
Snímek 6,7	18,93764	13,90808	18,71489	18,63504
Snímek 7,8	2,385686	2,486486	0,835073	4,631804
Snímek 8,9	146,1233	352,3784	113,7489	33,06297
Snímek 9,10	182,391	19,14207	107,6741	56,2406
Snímek 10,11	23,11213	32,06298	10,99839	99,54887
Snímek 11,12	10,5948	8,638366	87,45839	54,39588
Snímek 12,13	2,310924	0,435286	0,545689	0,424802
Snímek 13,14	25,22499	4,754725	98,67926	21,477
Snímek 14,15	71,9208	11,90336	107,8798	53,5047
Snímek 15,16	442,5067	17,42631	2,010082	14,0704
Snímek 16,17	552,0223	46,55293	12,00379	104,543
Snímek 17,18	3,109833	13,1198	5,039045	2,456936
Snímek 18,19	354,8989	7,544742	31,55297	3,776065
Snímek 19,20	0,398574	3,899092	27,54089	17,69537
Snímek 20,21	16,55025	173,8357	75,5446	20,81428
Snímek 21,22	96,35183	30,81309	20,00163	6,057753
Snímek 22,23	2,231839	146,3875	46,81969	21,1432
Snímek 23,24	40,47519	24,24305	4,93881	5,597822
Snímek 1,24	46503,68	2541,767	5728,39	2928,829
Rostlina	1	2	3	4

Hodnoty pro rostlinu jedna jsou ovlivněny rostlinou dva tím, že některé listy od rostliny dva byly připočteny rostlině jedna. Dále jsou ovlivněny růstem některých listů mimo snímanou oblast. Z tabulky přírůstků plochy pro všechny rostliny je patrné, že maximální dosažitelná reálná hodnota je 160%. Při prozkoumání dat pro jednotlivé rostliny je viditelný nárůst až o 350%, není však způsoben žádnou chybou. Pokud se hodnoty s tak velkým nárůstem objevují několikrát po sobě, jsou způsobeny již vysvětlenou chybou. Z hodnot pro rostlinu dva je patrné, že proběhy čtyři velké nárůsty plochy listů. Zbývající hodnoty ukazují pozvolný nárůst plochy listů. Nárůst pro rostlinu tři je ovlivněn listem od rostliny čtyři, který se přičítá k rostlině od snímku 12. I s touto chybou není nárůst větší než 115%. Chyba měla jednorázový vliv na data. Hodnoty pro rostliny čtyři jsou ovlivněny tím, že jeden velký list vyrostl mimo snímanou oblast. To ovlivnilo celkový nárůst plochy listů při srovnání snímků jedna a dvacet čtyři. Jinak hodnoty nijak rapidně nenarůstají a odpovídají pozvolnému růstu rostliny, jako data pro rostlinu dva. Při srovnání snímků jedna a dvacet čtyři byly hodnoty pro rostlinu jedna a tři ovlivněny rostlinami dva a čtyři. To způsobilo nárůst až o dva tisíce procent.



## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout, realizovat a otestovat systém, který bude detekovat růst rostlin pomocí obrazového vstupu. Jedná se o parametry jako je velikost přírůstu a nárůst plochy listu rostlin. A to, jak pro jednu, tak pro více rostlin. Jako obrazový vstup jsou použity dva snímky. Systém byl testován pomocí testovacích snímků.

Pro tvorbu systému jsou zpracovávány informace o úpravě a zpracování obrazu, také informace o vývoji a růstu rostlin. Poté byl vytvořen návrh detekčního systému, při kterém byl rovněž vytvořen návrh testování systému. Všechny části programu jsou tvořeny v Matlabu, ale bez použití již vytvořených funkcí pro zpracování obrazu v Matlabu. Celý program je vytvořen tak, aby ho bylo možné naprogramovat i v jiných programovacích jazycích. Jsou použity základní operace v programu Matlab. Program je rozdělený po funkcích a je rozdělen do dvou větších částí. Úprava obrazu a detekce růstu rostlin. Funkce pro úpravu snímků jsou vytvořeny tak, aby je bylo možno použít pro jakékoliv snímky. Každý snímek s funkcí úpravy obrazu je uchován a je použit v následující úpravě nebo také v detekčním systému.

Detekční část se skládá z osmi samostatných funkcí. První funkce je ztrátové snížení kvality, kde probíhá snížení počtu pixelů o  $1/3$ . Po této funkci následuje převod na stupně šedi. Tato funkce převede barevný snímek na škálu šedé barvy. V další funkci probíhá změna kontrastu pro odstranění pozadí snímků. Následná funkce provede zvýraznění listů. Pomocí barevného snímku je listům v stupních šedi přiřazena tmavě šedá barva. Poté probíhá v další funkci detekce hran. Ta je provedena za pomoci Sobelova operátoru. Z detekce hran dostaneme snímek, ve kterém jsou hrany vyznačeny světle šedou a bílou barvou. Pro další úpravy snímku je potřeba černobílý obraz. Ten získáme s pomocí funkce prahování. Při prahování se nastaví hraniční hodnota šedé. Pokud hodnota pixelu je větší než hraniční hodnota, bude do nového snímku převedena jako jedna, menší hodnota jako nula. Po prahování následuje morfologická operace funkce eroze. Ta odstraní ze snímku malé objekty, které by narušovaly další funkce. Poslední funkcí v úpravě snímku je indexování. Indexování označí každý pixel uzavřené oblasti stejným číslem. Každá oblast má své jedinečné číslo. Výstupem z indexování je snímek s označenými oblastmi, dále počet oblastí a jejich plocha v pixelech.

Detekční část systému se skládá ze čtyř částí, které na sebe navazují a nejsou schopny samostatně fungovat. Pro funkčnost detekční části je potřeba dodat specificky upravené snímky. Na vstup funkce pro nalezení listů rostlin je potřeba dodat snímek z indexování, počet oblastí a jejich plocha. Ve funkci se provádí třídění dat pomocí třídícího algoritmu halda a následná filtrace. Aby na výstupu byly jen snímky s listy. Další funkcí je přidělení jednotlivých listů k rostlinám. Pro rozdělení listu jsou vytvořeny pomocné čáry, vedle kterých jsou hledány listy a poté přiděleny k jednotlivým rostlinám. Na výstupu jsou rostliny rozděleny do vlastních snímků. Následuje funkce pro určení velikosti jednotlivých rostlin pomocí měřítka umístěného v pozadí. V poslední funkci probíhá srovnání dvou snímků a tvorba výstupních dat. Výstupní data ze systému jsou: snímek s vyznačeným přírůstem a hodnoty velikosti přírůstu rostlin v centimetrech, velikost nárůstu plochy listů pro jednotlivé rostliny a velikost nárůstu listů pro celý snímek.

Pro jednodušší a komfortnější ovládání programu, je vytvořeno grafické rozhraní v programu Matlab. Umožňuje jednoduchý výběr snímků pro detekční systém. Výstupní data jsou prakticky prezentována v tabulce a pomocí snímku, na kterém jsou červenou barvou vyznačeny přírůsty.

Pro testování byly vysazeny čtyři rostliny a do pozadí umístěno měřítko pro určení velikosti. Tyto rostliny byly snímány každý den ráno, a pokud během dne viditelně narostly, byl pořízen snímek

i večer. Snímání probíhalo tak dlouho, dokud se rostliny vešly do snímané oblasti. Takto bylo pořízeno dvacet čtyři snímků. Snímky byly postupně testovány detekčním systémem a výsledné hodnoty uloženy do tabulek pro výslednou analýzu.

Systém je možno použít pro sledování růstu rostlin při použití různých hnojiv, osvětlení nebo teploty pro získání dat. Systém může být využit jak v zemědělství, tak i v kosmickém průmyslu pro automatické sledování růstu rostlin v sondách nebo vesmírných stanicích.

Aby program fungoval bez chyb, je potřeba mít mezi snímanými rostlinami dostatečnou mezeru a musí se zajistit, aby rostliny nerostly mimo snímanou oblast. Přesnějších výsledků můžeme dosáhnout pořizováním snímků pro každou rostlinu zvlášť. Snímání rostlin může probíhat automaticky. Systém zvládne detekci i se snímky s menším rozlišením. Při menším rozlišení bude systém rychlejší, protože operace pro úpravu obrazu se provádí pixel po pixelu. A takto získané výsledky srovnávat mezi sebou. Dále by systém šel rozšířit pro automatické zavlažování rostlin. Pokud by systém zaznamenal uvadání listů, zapnul by zavlažování.

Dalším zajímavým rozšířením systému by bylo využití 3D kamery nebo více kamer pro jednu rostlinu. To by zamezilo změně dat způsobených natočením listu za světlem. A také by umožnila přesnější výsledky přírůstu rostliny.

Závěrem lze konstatovat, že jsem splnil veškeré body zadání této diplomové práce. I přes menší problémy se mi podařilo navrhnout, realizovat a otestovat funkční detekční systém.

## Použitá literatura

- [1] GONZALEZ, Rafael C., Richard E. WOODS a Steven L. EDDINS. *Digital image processing using MATLAB*. 2003. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, c2004. ISBN 01-300-8519-7.
- [2] SOJKA, Eduard. *Digitální zpracování a analýza obrazů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-707-8746-5.
- [3] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice: učební text: studijní materiály pro studijní obor Měřicí a řídicí technika, Elektronika Fakulty elektrotechniky a informatiky*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2596-0.
- [4] Pixel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pixel>
- [5] Mendelovy univerzity v Brně: Eknihovna. *Mendelovy univerzity v Brně* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-15-10]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=6335](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=6335)
- [6] ŠTĚPÁN, Petr. *Výukový program pro demonstraci principu barev a barevných modelů*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. PŘEMYSL KRŠEK, Ph.D.
- [7] KAFR.CZ. *KAFR.CZ* [online]. 2004 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <http://www.karf.cz/zahada-histogramu/>
- [8] STRAKA, Stanislav. *Segmentace obrazu*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Radka Pospíšilová.
- [9] Mendelovy univerzity v Brně: Eknihovna. *Mendelovy univerzity v Brně* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-15-10]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=18431](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=18431)
- [10] KEILOVÁ, Lucie. *Úvod do matematické morfologie*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Prof. RNDr. Jiří Rosický, DrSc.
- [11] KOLOUCHOVÁ, Michaela. *Morfologické operace ve zpracování obrazu*. Brno, 2008. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. ADAM HEROUT, Ph.D.
- [12] *Růst a vývoj rostlin* [online]. In: . s. 4 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: [http://www.gymh.cz/vyuka/biologie/prehledy/2bot\\_4\\_rust\\_vyvoj.pdf](http://www.gymh.cz/vyuka/biologie/prehledy/2bot_4_rust_vyvoj.pdf)

- [13] Biomach, výpisky z biologie: Růst a vývoj rostlin. *Růst a vývoj rostlin* [online]. 2005 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/biologie-rostlin/ruast-a-vyvoj-rostlin-pohyby-rostlin>
- [14] *Slide player: RŮST A VÝVOJ ROSTLIN.* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3460590/>
- [15] *Slide player: ROSTLINY NAHOSEMENNÉ JEHLIČNANY.* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3209568/>
- [16] *Genetika rostlin: Rozmnožování rostlin a jeho genetické důsledky* [online]. Přírodovědná fakulta Masarykovy Univerzity [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/pages/04-rozmnozovani-apomixis.html>

## Seznam příloh

Příloha A	Elektronická příloha .....	I
-----------	----------------------------	---

## **Příloha A      Elektronická příloha**

Příloha na CD obsahuje:

- Diplomová práce
- Software
  - Zdrojové kódy funkcí v programu Matlab
  - Zdrojový kód programu pro detekci zeleně v programu Matlab
  - Grafické uživatelské rozhraní z programu Matlab
- Měření
  - Dvacet čtyři testovacích snímků